



ED 546, Abbé Grégoire

EA21, Génie des procédés pour l'énergie, l'environnement et la santé

THÈSE

présentée par :

BOISSONNOT Romain

Soutenue le : 8 Décembre 2014

pour obtenir le grade de : Docteur du Conservatoire National des Arts et Métiers

Spécialité : Génie des procédés

RISQUES SANITAIRES ET PERCEPTION CHEZ LES AGRICULTEURS UTILISATEURS DE PRODUITS PHYTOPHARMACEUTIQUES

Mme PORTE Catherine
Mme GRIMBUHLER Sonia

THÈSE dirigée par :
Professeur des Universités, Cnam
Co-encadrant, chargé de recherche, Irstea

M. LEVI Yves
M. MAXIMILIEN Rémi

RAPPORTEURS :
Professeur, Faculté de pharmacie - Université Paris Sud
Directeur de Recherche, CEA

Mme MIGEOT Virginie
M. NICOLAS Jacques
Mme COURTOIS Martine
M. DELACROIX Alain

JURY :
Professeur, Université de Poitiers
Professeur du Cnam
Professeur agrégé, Cnam
Professeur honoraire du Cnam

Remerciements

Je tiens avant tout à remercier Madame Catherine Porte, professeur des universités au Cnam et Monsieur Alain Delacroix, professeur du Cnam, mes directeurs de thèse, pour le temps passé à l'encadrement de ce travail et pour leurs conseils.

Je remercie Madame Sonia Grimbuhler, chargée de recherche à l'Institut National de Recherche en Sciences et Technologies pour l'Environnement et l'Agriculture pour m'avoir proposé cette thèse, pour ses remarques constructives et pour le suivi de ce travail.

Je remercie Monsieur Yves Levi, professeur des universités à Paris XI et Monsieur Remi Maximilien pour avoir accepté de juger ce travail.

J'adresse mes remerciements à l'ensemble des membres du jury : Mme Virginie Migeot, professeur des universités à l'université de Poitiers, Mme Martine Courtois, professeur agrégé, M. Jacques Nicolas professeur du Cnam.

J'adresse mes remerciements aux membres de l'unité TSAN pour leur accueil, leurs précieux conseils et leur professionnalisme, m'ayant permis de réaliser cette thèse dans les meilleures conditions possibles. Une mention particulière à Mandy, Sylvain, Héroïse, les Carolines et tous les stagiaires de l'équipe phyto' pour leur bonne humeur et leur apport dans mon travail.

Je remercie les agriculteurs et viticulteurs qui m'ont accueilli et beaucoup appris sur leur métier. Sans eux, ce travail n'aurait pas été possible.

... tous mes amis pictons, Paul, Jean-René, Raphaël, Eugénie et Yoann, et tous ceux qui comptent pour moi, de m'avoir accompagné durant ces années, et me sont restés fidèles.

Un très grand merci à mes parents, mes grands-parents, mon frère et toute ma famille pour leur confiance et leur patience.

Un immense merci à Laure pour son aide précieuse et son soutien indéfectible qui m'ont permis d'aller jusqu'au bout.

Résumé

Contexte

De nombreux facteurs influencent l'exposition des agriculteurs aux produits phytopharmaceutiques (PP) : facteurs techniques (matériel de pulvérisation, forme et type des PP employés), agronomiques (pression parasitaire, doses employées, type de culture) et humains. La perception d'un risque est un facteur déterminant du comportement humain face à celui-ci. La perception du risque phytosanitaire chez les agriculteurs et ses conséquences sur l'exposition aux substances actives des utilisateurs sont peu étudiées.

Objectif

L'objectif de ce travail est d'évaluer comment la perception du risque influe sur les pratiques des agriculteurs. Il vise aussi à décrire et évaluer les déterminants de cette perception, et leurs impacts sur le risque sanitaire des utilisateurs de PP.

Méthode.

Des entretiens individuels sont menés pour évaluer la perception du risque auprès d'utilisateurs de PP. Des mesures et modélisations d'exposition complètent ces observations. Les mesures se focalisent sur les paramètres influencés par la perception du risque décrits lors des entretiens. Les résultats des mesures d'exposition sont comparés aux pratiques observées et servent à qualifier et quantifier l'impact de la perception sur le risque sanitaire.

Résultats

Ce travail montre que la perception des agriculteurs du risque liés aux PP est empirique et se base sur des critères tels que l'odeur, le type, la forme ou l'efficacité des produits pour estimer le risque. Les comportements des agriculteurs pour réduire leur exposition sont corrélés à leur perception des produits employés. L'utilisation des équipements de protection individuelle (EPI) est le marqueur le plus fort de la perception. Plus le risque est perçu comme important, plus l'utilisation d'EPI est élevée. Mais les pratiques de réduction du risque ne sont pas toujours efficaces pour réduire l'exposition. En effet, les mesures d'exposition réalisées montrent que les opérateurs, même utilisateurs d'EPI, n'ont pas conscience des phénomènes de contaminations indirectes (cabine des tracteurs, environnement de travail). Combinés à un

mauvais usage fréquent des EPI (réutilisation d'EPI à usage unique, utilisation partielle ou inadaptée), ces défauts de perception jouent sur l'exposition aux PP.

Les modélisations et mesure d'exposition en fonction des pratiques observées ont permis de quantifier les conséquences sanitaires de ces comportements. Il ressort que le risque sanitaire lors de l'utilisation des PP dans le cadre des bonnes pratiques est acceptable. Cependant ces bonnes pratiques sont théoriques et les observations montrent que les opérateurs ont des comportements qui s'éloignent des bonnes pratiques et les exposent aux PP, mais ces comportements ne sont pas perçus comme tels. Le risque sanitaire associé aux pratiques est très individuel et difficilement généralisable. Cependant, ce travail exploratoire a permis de mettre à jour des profils de risque et de décrire les déterminants forts de la perception. La sensation de maîtrise du risque est le déterminant clef dans l'acceptation du risque par les agriculteurs.

Conclusion

Ce travail montre que la perception du risque joue un rôle décisif dans l'exposition totale des agriculteurs aux PP. Le risque sanitaire est sensiblement dépendant de la perception du risque. Les politiques de prévention des risques doivent s'appuyer sur cet aspect afin d'adapter les messages et d'éduquer les opérateurs aux pratiques exposantes telles que la contamination indirecte ou le mauvais usage des EPI, aujourd'hui peu pris en compte par les utilisateurs de pesticides.

Mots-clefs : Évaluation des risques, pesticides, perception du risque, cancers.

Abstract

Introduction

Many factors influence the exposure of farmers to pesticides. Technical (spraying equipment, type of pesticides used), agronomic (type of crop, doses used, frequency) and human factors. The perception of risk is a determinant key of human behavior and how human faces to risk. Pest risk perception among farmers and the consequences of exposure to active substances of farmers have not been clearly studied.

Aims

The objective of this study is to evaluate how risk perception affects farmers' practices. It also aims to describe and assess the determinants of this perception, and their impact on the health risk of pesticides users.

Individual interviews are conducted to describe the perception of risk of pesticides' users. Measurements and modeling of exposure complement these observations. The measures focus on the parameters influenced by the perception of risk described in the interviews. The results of exposure measurements are compared to practices observed and used to qualify and quantify the impact of perception on health risk.

Results

This work shows that farmers' perceptions of risk related to pesticides used is empirical and based on criteria such as smell, type, form or effectiveness of products to estimate the risk. Farmers' behavior to reduce exposure is correlated with their perception of the products used. The use of personal protective equipment (PPE) is the strongest marker of perception. The higher the risk perceived, the greater the use of PPE is high. But the practical risk reductions are not always effective in reducing exposure. Indeed, exposure measurements show that operators, even in users of PPE, are unaware of indirect contamination (cab tractors, work environment). Combined with frequent misuse of PPE (reuse of disposable PPE, partial or improper use), these defects perception are increase exposure to pesticides.

Modeling and exposure's measurement based on observed practices are used to quantify the health consequences of these behaviors. It appears that the health risk of pesticides is acceptable when used as recommended. However, recommended practices are theoretical and observations show that operators have behaviors that deviate from recommended practices depending on pesticides used. But these behaviors are not perceived as risky. The health risks associated with individual practice is very difficult to generalize. However, this work highlights profiles of risk and describes strong determinants of perception. The risk-control feeling is the key determinant in risk acceptance by farmers.

Conclusion

This work shows that the perception of risk plays a decisive role in the exposure to pesticide of farmers. The health risk is substantially dependent on the perception of risk. The risk prevention policies must support this risk perception to adapt messages and educate the

operators to not adapted practices such as indirect contamination or improper use of PPE, few considered by some pesticides users.

Keywords : Risk assessment, pesticides, risk perception, cancers.

Table des matières

Table des matières	VIII
Abréviations	XII
Liste des tableaux	XIV
Liste des figures	XVI
Première Partie : Les produits phytopharmaceutiques, utilisation et toxicité	- 18 -
1.1 L'agriculture en France	- 19 -
1.2 Utilisation des produits phytopharmaceutiques en France	- 23 -
1.2.1 Définition	- 23 -
1.2.2 Historique	- 24 -
1.2.3 Bénéfices	- 25 -
1.2.4 Marché des produits phytopharmaceutiques en France	- 26 -
1.2.5 Évaluation des risques avant mise sur le marché	- 28 -
1.2.6 Programmes de réduction de l'usage des produits phytosanitaires	- 31 -
1.3 Problématique sanitaire	- 35 -
1.4 Objectifs	- 37 -
Deuxième Partie : Risques sanitaires liés à l'utilisation des produits phytopharmaceutiques	- 38 -
2.1 Le traitement phytosanitaire	- 39 -
2.2 Voies de contamination	- 43 -
2.3 Toxicologie des produits phytopharmaceutiques	- 45 -
2.3.1 Effets sanitaires aigus	- 45 -
2.3.2 Effets sanitaires chroniques	- 50 -
2.4 Cas particulier des cancers	- 61 -
2.4.1 Cancers et produits phytopharmaceutiques dans la population agricole	- 61 -
2.4.1.1 Les méta-analyses	- 61 -
2.4.1.2 Approche épidémiologique	- 62 -
2.4.1.3 Les cohortes agricoles	- 64 -
2.4.2 Cancers dans la population agricole face à la population générale	- 66 -

2.4.3 Conclusion	70 -
Troisième Partie : Évaluation du risque lié aux produits phytopharmaceutiques	72 -
3.1 L'évaluation quantitative des risques sanitaires des produits phytopharmaceutiques ..	73 -
3.1.1 Démarche générale de l'EQRS	73 -
3.1.2 Place de la démarche par rapport aux autres approches sanitaires	76 -
3.1.3 Les valeurs toxicologiques de référence (VTR)	77 -
3.1.3.1 Les bases de données (BDD)	77 -
3.1.3.2 Les bases de données spécialisées sur le cancer	78 -
3.1.3.3 Généralités sur les Valeurs Toxicologiques de Référence (VTR)	81 -
3.1.3.4 Incertitudes sur les effets des mélanges de produits phytosanitaires	82 -
3.2 Déterminants de l'exposition des agriculteurs	84 -
3.2.1 Paramètres liés aux produits phytopharmaceutiques	84 -
3.2.2 Paramètres liés à la tâche réalisée	86 -
3.2.3 Paramètres liés au matériel de pulvérisation.....	86 -
3.2.4 Paramètres liés aux EPI	87 -
3.2.5 Paramètres liés au type de culture.....	88 -
3.2.6 Paramètres liés aux conditions météorologiques	89 -
3.2.7 Paramètres liés à l'opérateur	89 -
3.2.8 Incertitudes sur les déterminants de l'exposition	90 -
3.3 Évaluation de l'exposition.....	91 -
3.3.1 Modélisation de l'exposition.....	91 -
3.3.2 Biomonitoring humain (BMH)	95 -
3.3.3 Mesures environnementales.....	97 -
3.3.3.1 Méthode des patches.....	97 -
3.3.3.2 Autres méthodes de mesures environnementales.....	98 -
3.3.4 Bilan des méthodes de mesures de l'exposition.....	99 -
3.4 Perception du risque en agriculture	100 -
Quatrième Partie : Matériels et méthodes	108 -

4.1 Méthode d'évaluation de la perception du risque	- 109 -
Support à l'évaluation de la perception.....	- 110 -
4.2 Les enquêtes	- 115 -
Sélection de la population cible.....	- 116 -
4.3 Évaluation de l'influence de la perception sur l'exposition	- 120 -
4.3.1 Modélisation de l'exposition.....	- 120 -
4.3.1.1 Objectif des modélisations	- 120 -
4.3.1.2 Matériel et méthode des modélisations.....	- 121 -
4.3.1.3 Discussion sur les modèles et la méthode	- 121 -
4.3.2 Mesure de l'exposition.....	- 122 -
4.3.2.1 Objectifs	- 122 -
4.3.2.2 Choix de la méthode de prélèvement.....	- 122 -
4.3.2.3 Choix du solvant	- 124 -
4.3.2.4 Limites et incertitudes concernant les prélèvements.....	- 124 -
4.3.2.5 Méthode de prélèvement.....	- 125 -
4.3.3 Les prélèvements chez les agriculteurs.....	- 126 -
4.4 Sélection du produit phytopharmaceutique d'intérêt	- 127 -
4.4.1 Produit phytopharmaceutique retenu pour l'étude.....	- 127 -
4.4.2 Caractéristiques du produit phytopharmaceutique d'intérêt sanitaire.....	- 130 -
Cinquième Partie : Résultats.....	- 134 -
5.1 Entretiens sur la perception du risque	- 135 -
5.1.1 Données générales sur les enquêtes	- 135 -
5.1.2 Vérification des concepts développés.....	- 135 -
5.1.3 Déterminants de la perception du risque	- 139 -
5.1.4 Conséquences sanitaires redoutées	- 146 -
5.1.5 Conséquences sur les pratiques	- 149 -
5.1.6. Vérification du déclaratif.....	- 152 -
5.1.7 Bilan des entretiens, limites et perspectives	- 152 -

5.2 Modélisation de l'exposition	- 155 -
5.2.2 Programmation des modèles	- 155 -
5.2.3 Résultats des modélisations d'exposition	- 157 -
5.3 Caractérisation du risque	- 160 -
5.3.1 Développement du modèle d'évaluation du risque réel	- 160 -
5.3.2 Résultats selon les scénarios	- 162 -
5.3.3 Influences d'autres paramètres sur l'exposition	- 165 -
5.4 Observation des traitements	- 168 -
5.4.1 Recrutement des viticulteurs	- 168 -
5.4.2 Produits recherchés	- 168 -
5.4.3 Mesures d'exposition	- 169 -
5.4.3.1 Caractéristiques des échantillons	- 169 -
5.4.3.2 Analyse des échantillons	- 175 -
5.4.4 Incertitudes sur les mesures de l'exposition et caractérisation du risque	- 175 -
5.5 Perception et exposition	- 177 -
5.5.1 Dosages des échantillons	- 178 -
5.5.2 Comportement et exposition	- 181 -
5.5.3 Décalage entre le risque réel et le risque perçu	- 190 -
5.5.4 Les profils de risque	- 195 -
5.5.5 Incertitudes sur la perception	- 198 -
5.6 Comparaison entre doses mesurées et modélisées	- 201 -
5.7 Bonnes pratiques et pratiques de terrain	- 205 -
Conclusion et perspectives	- 214 -
Conclusion	- 215 -
Références	224
Annexes	242

Abréviations

ADN : Acide désoxyribonucléique

AFSSA : Agence Française de Sécurité Sanitaire des Aliments, Voir ANSES

AFSSET : Agence Française de Sécurité Sanitaire, de l'environnement et du travail. Voir ANSES.

AMM : Autorisation de Mise sur le Marché

ANSES : Agence nationale de sécurité sanitaire de l'alimentation, de l'environnement et du travail. Issue de la fusion AFSSA et AFSSET.

AOEL : Acceptable Operator Exposure Level : niveau acceptable d'exposition professionnelle.

BMH : Biomonitoring Humain

DL50: Dose Létale 50 %

DRO : Dérivés oxygénés réactifs

EFSA: European Food Safety Authority. Agence Européenne de sécurité sanitaire des aliments.

EQRS : Evaluation quantitative des risques sanitaires

EPI : Equipement de protection individuel.

ERI : Excès de risque individuel

ERU : Excès de risque unitaire

INRA : Institut National de la Recherche Agronomique

MERR : Modèle d'évaluation des risques réels

MSA : Mutualité Sociale Agricole

NOAEL : No Observed Adverse Effect Level : niveau d'exposition sans effet observé

PP : Produit phytopharmaceutique

PCP : Pentachlorophénol

SA : Substance (s) Active (s)

SAU : Surface Agricole Utile

SGH : Système Généralisé Harmonisé de classification et d'étiquetage des produits chimiques

OGM : Organismes Génétiquement Modifiés

OMS : Organisation Mondiale de la Santé = WHO

OP : Organophosphorés

PE : Perturbateur Endocrinien

UE : Union Européenne

US-EPA: United States Environmental Protection Agency. Agence de protection de l'environnement des Etats-Unis.

VTR : Valeur toxicologique de référence

WHO : World Health Organization. Organisation mondiale de la santé

Liste des tableaux

TABEAU 1 : SURFACE ET NOMBRE D'EXPLOITATIONS DE LA PRODUCTION VEGETALE EN 2007.	- 21 -
TABEAU 2 : ECONOMIE DE LA PRODUCTION VEGETALE.....	- 22 -
TABEAU 3 : CATEGORIES DE MENACE PRESENTEE PAR UN PRODUIT SELON LE SGH	- 46 -
TABEAU 4 : CIBLE DU TRAITEMENT LORS DE L'EXPOSITION. RESULTATS ENTRE 1997 ET 2007 EXPRIMES EN NOMBRE DE DOSSIERS POUR 10 000 HA (MSA 2010).	- 49 -
TABEAU 5 : BILAN DES ETUDES ANALYSEES SUR L'EXPOSITION AUX PRODUITS PHYTOPHARMACEUTIQUES ET LA SURVENUE D'UNE PATHOLOGIE CHEZ L'ADULTE ET L'ENFANT	- 51 -
TABEAU 6 : PRODUITS CHIMIQUES PREOCCUPANTS SUR LA SANTE HUMAINE ET SUR LA FAUNE AYANT UNE ACTIVITE DE PERTURBATION ENDOCRINIENNE.....	- 58 -
TABEAU 7 : EFFECTIF ET RISQUE RELATIF DES CANCERS ET AUTRES PATHOLOGIES OBSERVES DANS L'ETUDE COSMOP 2010 CHEZ LES AGRICULTEURS.	- 63 -
TABEAU 8 : CONSORTIUM INTERNATIONAL DE COHORTES AGRICOLES : WASHINGTON 25-26/09/2006.	- 64 -
TABEAU 9 : DIFFERENCE D'APPARITION DE CANCERS ENTRE LA COHORTE AGRIcAN ET LA POPULATION GENERALE SELON LE SEXE ET LA LOCALISATION	- 65 -
TABEAU 10 : FACTEURS DE RISQUE DE CANCER SELON DIFFERENTES ETUDES	- 67 -
TABEAU 11 : NOMBRE DE CANCER PAR LOCALISATION EN FRANCE ET CONTRIBUTION A L'ENSEMBLE DES CANCERS.	- 68 -
TABEAU 12 : EQRS ET PRODUITS PHYTOPHARMACEUTIQUES : EXEMPLES D'ETUDES	- 75 -
TABEAU 13 : BASE DE DONNEES ET CLASSIFICATION DES SUBSTANCES CANCERIGENES (D'APRES FURETOX) ..	- 80 -
TABEAU 14 : DENOMINATION DES VTR A SEUIL ET SANS SEUIL SELON LES BASES DE DONNEES	- 81 -
TABEAU 15 : COMPARAISON DES DIFFERENTS MODELES D'EXPOSITION (MÄKINEN 2003).....	- 92 -
TABEAU 16 : SURFACES DES REGIONS DU CORPS D'UN ADULTE ET LOCALISATION DES PATCHS POUR MESURER L'EXPOSITION DERMIQUE	- 97 -
TABEAU 17 : COMPARAISON DES DIFFERENTES APPROCHES DE MESURE DE L'EXPOSITION.	- 99 -
TABEAU 18 : FACTEURS ET CONDITIONS DE PERCEPTION D'UN RISQUE.....	- 104 -
TABEAU 19 : DETERMINANTS DES DEUX SYSTEMES D'EVALUATION DU RISQUE (D'APRES SLOVIC <i>ET AL.</i>).....	- 105 -
TABEAU 20 : NOMBRE MOYEN DE TRAITEMENTS ET DE PASSAGES ANNUELS SELON LES TYPES DE CULTURE (AGRESTE 2008, 2009).....	- 116 -
TABEAU 21 : SUBSTANCES UTILISEES EN VITICULTURE ET LEURS STATUTS CARCINOGENIQUES SELON L'OMS ET L'US-EPA.....	- 118 -
TABEAU 22 : VTR SANS SEUIL DE CINQ PRODUITS PHYTOPHARMACEUTIQUES RETENUS POUR L'EVALUATION DES RISQUES.....	- 119 -
TABEAU 23 : PRODUITS PHYTOPHARMACEUTIQUES D'INTERET SANITAIRE ET LEUR VTR	- 129 -
TABEAU 24 : ACCEPTABILITE DU RISQUE THEORIQUE ET OBSERVEE LORS DES ENTRETIENS AVEC LES VITICULTEURS.	- 136 -

TABLEAU 25 : LISTE DES 24 COMBINAISONS DE PORT DES EQUIPEMENTS DE PROTECTION INDIVIDUELLE POUR LES DIFFERENTES MODELISATIONS.....	- 157 -
TABLEAU 26 : RESULTATS DES MODELISATIONS SELON L'USAGE DES EPI	- 158 -
TABLEAU 27 : ERI SELON LE PORT DES EPI EN FONCTION DES ETAPES DU TRAITEMENT.	- 163 -
TABLEAU 28 : PRINCIPALES MODELISATIONS INFLUENCEES PAR LES PRATIQUES AGRICOLES ET CORRESPONDANCE ENTRE AOEL, EXPOSITION TOTALE ET ERI.....	- 165 -
TABLEAU 29 : PRODUITS PHYTOPHARMACEUTIQUES A BASE DE FOLPEL AUTORISES SUR LA VIGNE.....	- 166 -
TABLEAU 30 : EXPOSITION ET ERI SELON LE PORT DES EPI VIE PROFESSIONNELLE ENTIERE POUR LES FORMES POUDREUSES ET GRANULEUSES DE FOLPEL.....	- 167 -
TABLEAU 31 : RESUME DES RISQUES REELS ET PERÇUS DU CUIVRE ET DU FOLPEL	- 169 -
TABLEAU 32 : PRODUITS EMPLOYES, DES DOSAGES ET QUANTITES MANIPULEES PAR EXPLOITATIONS.	- 170 -
TABLEAU 33 : PORT DES EPI SELON LES ETAPES DU TRAITEMENT LORS DES MESURES D'EXPOSITION	- 171 -
TABLEAU 34 : VETEMENTS PORTES LORS DU TRAITEMENT.	- 171 -
TABLEAU 35 : ÉCHANTILLONNAGE DES PRELEVEMENTS	- 173 -
TABLEAU 36 : RESULTATS DES DOSAGES DES ECHANTILLONS	- 179 -
TABLEAU 37 : DOSES RELEVÉES SUR LE VOLANT ET LES COMMANDES DES CABINES DES TRACTEURS AYANT SERVIS A LA PULVERISATION CHEZ LES VITICULTEURS OBSERVES.....	- 183 -
TABLEAU 38 : DOSES, CONTACTS ET DUREES DES PREPARATIONS DE L'EXPLOITATION NUMERO 2.....	- 188 -
TABLEAU 39 : TRAITEMENTS DU VITICULTEUR NUMERO 13.	- 191 -
TABLEAU 40 : COMPARAISON ENTRE LES DOSES MESUREES ET LES DOSES MODELISEES.....	- 202 -
TABLEAU 41 : ERI CALCULES DES 3 OPERATEURS AYANT MANIPULE DU FOLPEL.	- 208 -
TABLEAU 42 : EFFECTIF ET RISQUE RELATIF DES CANCERS ET AUTRES PATHOLOGIES OBSERVES DANS L'ETUDE COSMOP 2010 CHEZ LES VITICULTEURS.....	- 213 -

Liste des figures

FIGURE 1 : ORIENTATION TECHNICO-ECONOMIQUE DES COMMUNES EN FRANCE.....	- 20 -
FIGURE 2 : LE MARCHE EUROPEEN DES PRODUITS PHYTOPHARMACEUTIQUES (UIPP 2013).	- 26 -
FIGURE 3 : ÉVOLUTION DU CHIFFRE D'AFFAIRE DES CAMPAGNES AGRICOLES PAR FAMILLE DE PRODUITS EN FRANCE (SOURCE : UIPP 2010)	- 27 -
FIGURE 4 : TONNAGES DE SUBSTANCES ACTIVES VENDUES EN FRANCE EN 2010 (UIPP 2013)	- 27 -
FIGURE 5 : LES PRINCIPAUX SYMPTOMES D'UNE EXPOSITION AIGUË AUX PRODUITS PHYTOPHARMACEUTIQUES, EXPRIMES EN POURCENTAGE (MSA 2010)	- 50 -
FIGURE 6 : COMPLEXES ENZYMATIQUES MITOCHONDRIALES CIBLES PAR LES PRODUITS PHYTOPHARMACEUTIQUES (D'APRES DRESHEL <i>ET AL.</i> 2008)	- 53 -
FIGURE 7 : SYNTHÈSE DES META-ANALYSES RÉALISÉES SUR LE RISQUE DE CANCERS EN MILIEU AGRICOLE	- 62 -
FIGURE 8 : SCHEMATISATION DE L'ÉVALUATION QUANTITATIVE DES RISQUES SANITAIRES	- 74 -
FIGURE 9 : FIABILITE, INCERTITUDES ET NIVEAU DE PROTECTION DES DIFFÉRENTES APPROCHES FACE AU RISQUE SANITAIRE LIÉ À L'ENVIRONNEMENT.....	- 76 -
FIGURE 10: CAPTURE D'ÉCRAN DU MODÈLE UK-POEM	- 92 -
FIGURE 11 : PROCESSUS GÉNÉRAL D'ÉVALUATION DU RISQUE PERÇU ET DU RISQUE RÉEL	- 109 -
FIGURE 12 : EXEMPLE DE QUESTION POSÉE AVEC ÉCHELLE DE NOTATION	- 113 -
FIGURE 13 : STRUCTURE CHIMIQUE DE 3 PHTALIMIDES ET NOYAU PHTALIMIDE (À DROITE).....	- 131 -
FIGURE 14 : CONFIANCE ACCORDÉE DANS L'AMM POUR PROTÉGER LA SANTÉ DES VITICULTEURS	- 138 -
FIGURE 15 : « QU'EST-CE QUI EST LE PLUS DANGEREUX POUR VOTRE SANTÉ DANS LES PRODUITS PHYTOPHARMACEUTIQUES ? » PLUSIEURS RÉPONSES POSSIBLES.	- 139 -
FIGURE 16 : FORME PRÉFÉRÉE DES PRODUITS PHYTOPHARMACEUTIQUES EMPLOYÉS ET JUSTIFICATION. PLUSIEURS RÉPONSES POSSIBLES	- 140 -
FIGURE 17 : VOIES D'EXPOSITION PERÇUES COMME PRINCIPALES SELON LES ÉTAPES DU TRAITEMENT ET LE NIVEAU DE FORMATION. PLUSIEURS RÉPONSES POSSIBLES.	- 142 -
FIGURE 18 : CLASSIFICATION DES PRODUITS PHYTOPHARMACEUTIQUES SELON LEUR DANGÉROSITÉ PERÇUE.	- 144 -
FIGURE 19 : "SELON VOUS, L'ODEUR OU LA COULEUR D'UN PRODUIT PHYTOPHARMACEUTIQUE SONT-ILS DES INDICATEURS DE DANGÉROSITÉ ?"	- 145 -
FIGURE 20 : CONSÉQUENCES SANITAIRES, LIÉES À L'USAGE DES PRODUITS PHYTOPHARMACEUTIQUES SUR LE LONG TERME, REDOUTÉES PAR LES VITICULTEURS.	- 146 -
FIGURE 21 : « CONCERNANT LE RISQUE SANITAIRE LIÉ AUX PESTICIDES, VOUS PENSEZ : ... ».....	- 147 -
FIGURE 22 : « SELON VOUS, QUEL EST LE RISQUE LE PLUS IMPORTANT POUR VOTRE SANTÉ DANS VOTRE ACTIVITÉ ? ».....	- 148 -
FIGURE 23 : « SELON VOUS, COLORER VOLONTAIREMENT LES PRODUITS PHYTOPHARMACEUTIQUES SERAIT UTILE POUR : » PLUSIEURS RÉPONSES POSSIBLES.	- 149 -
FIGURE 24 : PORT DES EPI LORS DES DIFFÉRENTES PHASES DU TRAITEMENT.....	- 150 -

FIGURE 25 : « ESTIMEZ-VOUS QUE LA FORMATION CERTIPHYTO VOUS A PERMIS DE MIEUX UTILISER LES PRODUITS PHYTOPHARMACEUTIQUES ? »	- 151 -
FIGURE 26 : MODELE BBA PROGRAMME POUR LE FOLPEL A 1500 G.HA ⁻¹	- 156 -
FIGURE 27 : METHODOLOGIE D'ANALYSE DES OBSERVATIONS DE TERRAIN	- 178 -
FIGURE 28 : VALEURS MINIMALES, MAXIMALES, MEDIANES ET QUARTILES DES EXPOSITIONS MESUREES POUR LE CUIVRE. ÉCHELLE LOGARITHMIQUE. VALEURS EXPRIMEES EN MG.	- 180 -
FIGURE 29 : PHOTOS ILLUSTRANT LA CONTAMINATION CROISEE.	- 182 -
FIGURE 30 : « QUELLE CONFIANCE ACCORDEZ-VOUS AUX EPI DANS LA PROTECTION VIS A VIS DES PRODUITS PHYTOPHARMACEUTIQUES ? »	- 186 -
FIGURE 31 : LAVAGE ET RINÇAGE DES BIDONS	- 187 -
FIGURE 32 : OUVERTURE DES OPERCULES DES BIDONS	- 187 -
FIGURE 33 : NUAGE DE PULVERISATION.	- 190 -
FIGURE 34 : ADAPTATION DES COMPORTEMENTS SELON LES PRODUITS EMPLOYES	- 193 -
FIGURE 35 : ORIENTATIONS FUTURES SOUHAITEES PAR LES VITICULTEURS POUR REDUIRE LE RISQUE PHYTOSANITAIRE.	- 198 -
FIGURE 36 : CONTRAINTES ERGONOMIQUES LIEES A LA CONCEPTION DES CUVES	- 211 -

Première Partie : Les produits phytopharmaceutiques, utilisation et toxicité

1.1 L'agriculture en France

L'agriculture est l'activité ayant pour but d'assurer l'essentiel de l'alimentation humaine. Le mot d'origine latine *agricultura* signifie « culture des champs ». L'élevage est de nos jours inclus dans la définition de l'agriculture.

En 2010, la France possède 16 % de la Surface Agricole Utile européenne¹ (SAU) ce qui en fait la première puissance agricole européenne et la 4^{ème} au plan mondial derrière les États-Unis, le Brésil et le Japon. La SAU est une donnée statistique qui représente la surface du territoire utilisée pour la production agricole. Cette SAU comporte les terres arables (grande culture, cultures maraîchères, mais aussi jachères), les surfaces toujours en herbe (prairies permanentes, alpages) et les cultures pérennes (vignes, vergers...). Sont exclus les espaces forestiers².

L'agriculture représente 1,5 % du PIB français soit environ 61 milliards de dollars en 2009 (uippFMI 2013 ; UIPP 2013). D'après l'INSEE, la part directe de l'agriculture dans l'emploi est relativement faible avec 3 % des emplois totaux occupés en France³ ce qui représente 970 000 personnes (220 000 salariées, 420 000 non-salariées et 330 000 bénévoles) participant régulièrement au travail dans les exploitations.

1 La liste des exploitations agricoles et superficie agricole utilisée dans l'Union européenne en 2010 de l'INSEE et disponible en annexe I.

2 Source AGRESTE 2014.

3 AGRESTE Les Dossiers N° 1 - JUIN 2008

La production agricole varie sensiblement selon les régions. L'orientation technico-économique d'une exploitation est liée à différents facteurs tels que les conditions météorologiques, les types de sols ou les surfaces utiles disponibles. La Figure 1 indique l'orientation technico économique principale des communes.

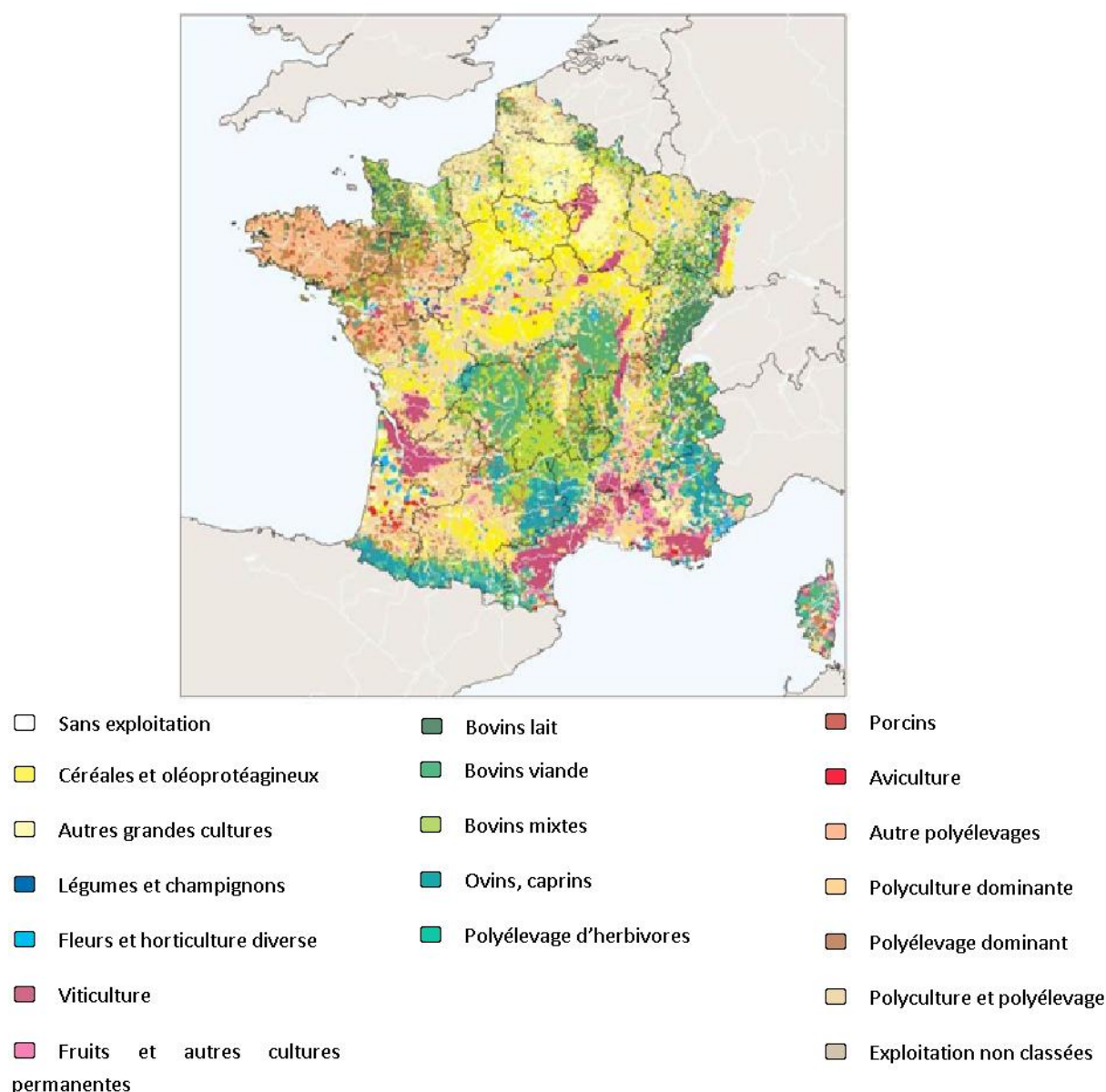


Figure 1 : Orientation technico-économique des communes en France⁴

Les orientations agricoles des régions suivent des tendances liées au terroir et à leur histoire avec par exemple les régions viticoles calquées sur les principales Appellations d'Origines

⁴D'après les résultats du recensement agricole 2007 et 2010. Données disponibles en ligne sur <http://www.agreste.agriculture.gouv.fr/page-d-accueil/article/donnees-en-ligne>. D'après les résultats du recensement agricole 2007 et 2010. Consulté en Juillet 2014.

Contrôlées des vins. Certaines régions se spécialisent comme la Bretagne ou les zones montagneuses qui sont plus orientées dans la production animale. Les grandes cultures représentent à elles seules 60 % de la surface agricole occupée.

Les surfaces utilisées pour chaque culture sont représentatives de l'activité agricole principale dans chaque région. Les cultures n'ont pas toutes les mêmes caractéristiques et besoins en surface. Le Tableau 1 reprend les surfaces et le nombre d'exploitations correspondantes selon le type de cultures, d'après l'Agreste.

Tableau 1 : Surface et nombre d'exploitations de la production végétale en 2007.

<i>Type de culture</i>	Surface en ha	Nombre d'exploitations
<i>Céréales (Blé, Orge, Mais, colza...)</i>	8 349 138	229 085
<i>Cultures industrielles (tournesol, soja, lin...)</i>	2 526 579	109 806
<i>Légumes secs et protéagineux</i>	216 632	22 916
<i>Fourrages</i>	4 428 387	172 463
<i>Pommes de terre et tubercules</i>	149 887	24 476
<i>Légumes frais</i>	230 028	28 362
<i>Fleurs et plantes ornementales</i>	8 491	5 943
<i>Vignes</i>	791 065	60 198
<i>Cultures permanentes entretenues</i>	185 070	26 843
<i>Jachères</i>	1 121 157	165 572
<i>Terres labourables</i>	17 272 305	272 755

Les céréales sont majoritaires dans cette production tant en surface occupée que pour le nombre d'exploitations concernées. Les fourrages arrivent en deuxième position et ceci s'explique par les besoins alimentaires de l'élevage. La première culture pérenne en France est la vigne avec, en 2007, 60 198 exploitations recensées.

Le Tableau 2 indique le poids économique des principales cultures :

Tableau 2 : Economie de la production végétale

	2010 (en milliards d'euros)	2011 (en milliards d'euros)
<i>Produits végétaux</i>	39,1	42,2
<i>Céréales</i>	10,5	11,8
<i>Oléagineux, protéagineux</i>	2,8	3,3
<i>Betteraves industrielles</i>	0,8	1,0
<i>Autres plantes industrielles (1)</i>	0,4	0,4
<i>Fruits, légumes, pommes de terre</i>	7,8	7,1
<i>Vins</i>	9,4	10,9
<i>Fourrages, plantes, fleurs</i>	7,3	7,7

(SOURCE AGRESTE 2012)

Première culture industrielle par la surface occupée, les céréales le sont aussi d'un point de vue économique avec un quart du total de la production végétale qui s'élève à 42,2 milliards d'euros en 2011. La viticulture, dont la surface viticole équivaut à 10 % de la surface utilisée pour les céréales, assure pourtant une production économique du même ordre. Ces deux cultures comptent pour la moitié de la production végétale sur le plan économique. La 3^{ème} place des fourrages s'explique encore par les besoins importants de la production animale pour l'alimentation du bétail.

1.2 Utilisation des produits phytopharmaceutiques en France

1.2.1 Définition

Un produit phytopharmaceutique est une préparation ou une formulation, composée de solutions ou de mélanges de plusieurs substances actives sur les plantes, émise dans une culture pour éliminer des organismes qui lui sont nuisibles. Ces produits phytopharmaceutiques sont utilisés dans le secteur agricole ou pour d'autres applications telles que le jardinage, l'entretien des espaces publics et l'entretien de la voirie. Le terme « pesticide » est une appellation générique d'origine anglaise (*pest* signifie animal nuisible) qui rassemble les insecticides, les fongicides, les herbicides.

Du point de vue réglementaire la directive 1107/2009⁵ ainsi que l'article L253-1 du Code Rural⁶ définissent les produits phytopharmaceutiques comme des préparations contenant une ou plusieurs substances actives et des produits composés en tout ou partie d'organismes génétiquement modifiés présentés sous la forme dans laquelle ils sont livrés à l'utilisateur final. Les produits phytopharmaceutiques sont destinés à :

- a) Protéger les végétaux, ou produits végétaux, contre tous les organismes nuisibles ou à prévenir leur action ;
- b) Exercer une action sur les processus vitaux des végétaux, dans la mesure où il ne s'agit pas de substances nutritives ;
- c) Assurer la conservation des produits végétaux, à l'exception des substances et produits faisant l'objet d'une réglementation communautaire particulière relative aux agents conservateurs ;
- d) Détruire les végétaux indésirables ;

⁵<http://www.legifrance.gouv.fr/affichTexte.do?cidTexte=JORFTEXT000000339052>, consulté en juillet 2014.

⁶Le code rural est accessible en ligne sur le site Legifrance : www.legifrance.gouv.fr

e) Détruire des parties de végétaux, freiner ou prévenir une croissance indésirable des végétaux.

Les produits phytopharmaceutiques se présentent sous diverses formes (poudres, granulés, émulsions, préparations micro-encapsulés, solutions, aérosols, fumigants, appâts...). Ils peuvent être utilisés seuls ou en association (Viala et Botta 2005).

1.2.2 Historique

Dans les pays européens, jusqu'au XVI^{ème} siècle, l'agriculture employait une grande partie de la population car les rendements agricoles étaient très faibles. A partir du XIX^{ème} siècle les progrès du machinisme agricole, l'utilisation d'énergies fossiles (charbon, pétrole) et le développement des sciences agronomiques bouleversent profondément l'agriculture. Nommée révolution agricole par les historiens, ce bouleversement se traduit par une diminution de la population agricole, parallèlement à l'augmentation constante des rendements agricoles. Dans la société active, la part de la population agricole est marginalisée mais suffit néanmoins à nourrir la population générale dont l'activité se reporte dans les secteurs secondaire et tertiaire. Ce déplacement des emplois vers ces nouveaux secteurs d'activité a permis une modernisation des sociétés directement liée à la révolution agricole.

A la fin de la seconde guerre mondiale l'agriculture s'intensifie encore avec l'introduction massive d'intrants. Les intrants sont les produits apportés aux terres et aux cultures tels que :

- Les engrais ;
- Les amendements (éléments améliorant les propriétés physiques et chimiques du sol, tels que le sable, la tourbe, la chaux...) ;
- Les produits phytopharmaceutiques, constitués des produits phytopharmaceutiques et des activateurs ou retardateurs de croissance de la plante.

L'utilisation des produits phytopharmaceutiques a été multipliée par 16 entre 1945 et 1985 avec aujourd'hui une utilisation à 90 % par le milieu agricole (Gatignol et Etienne 2010). Ces intrants contribuent -avec la mécanisation et les techniques agronomiques- à l'amélioration constante des rendements.

1.2.3 Bénéfices

Le bénéfice le plus considérable de l'introduction des produits phytopharmaceutiques est le gain très important sur les rendements dans les exploitations agricoles qui ont fait appel à ces substances (Cooper et Dobson 2007). Dans le cadre d'une agriculture conventionnelle les pertes liées aux nuisibles seraient de l'ordre de 20 à 80 % selon le type de cultures. Sans utilisation de produits phytopharmaceutiques, les rendements s'effondreraient et les prix des denrées alimentaires augmenteraient de façon importante (Oerke 2006). Pour les agriculteurs, l'utilisation des produits phytopharmaceutiques est un gain de temps et d'argent non négligeable : par exemple l'utilisation d'un herbicide permet de désherber en quelques heures d'application, ce que l'homme mettrait plusieurs jours à faire mécaniquement.

Le principal gain de l'utilisation des produits phytopharmaceutiques est économique, tant pour l'agriculteur, qui peut ainsi produire et vendre en plus grandes quantités, que pour le consommateur qui peut acheter des denrées alimentaires abondantes et bon marché (Cooper et Dobson 2007).

D'autres bénéfices accompagnent l'utilisation des produits phytopharmaceutiques comme les avantages esthétiques, les consommateurs privilégiant les fruits et légumes sans défauts (Damalas 2009). Les collectivités et les particuliers utilisent aussi des produits phytopharmaceutiques le plus souvent pour des raisons esthétiques (désherbage des parcs et jardins publics ou privés, des terrains de sport, ...) mais également pour des raisons de sécurité (désherbage le long des voies de circulation ou des lignes de chemins de fer) et de confort (insecticides utilisés par les particuliers pour chasser les insectes du lieu d'habitation).

Au niveau santé humaine, les insecticides sont des outils très importants de la lutte contre certains vecteurs de maladies comme la dengue ou le paludisme. Ces maladies sont véhiculées par des moustiques et l'usage d'insecticides dans les zones endémiques permet de contrôler et ralentir la prolifération de la maladie. En 1973 l'interdiction du DDT par les États-Unis (et par de nombreux autres pays industrialisés par la suite) pour des raisons environnementales a été très critiquée sur le plan international, car cette interdiction aurait entraîné une baisse d'efficacité de la lutte contre les vecteurs aboutissant à de nombreuses morts évitables (Attaran, Roberts *et al.* 2000 ; Kristof 2005).

Par extension, les fongicides sont aussi appliqués à l'homme pour la lutte contre les infections fongiques avec l'usage de produits de la famille des triazolés retrouvés tant en pharmacie que dans certains produits phytopharmaceutiques.

1.2.4 Marché des produits phytopharmaceutiques en France

Le chiffre d'affaire du secteur représente 1,9 milliard d'euros en 2012 en France. Il est partagé par vingt et une entreprises spécialisées dans la fabrication de produits phytopharmaceutiques (UIPP 2013). Ce marché est comparé à celui d'autres pays Européens en Figure 2.

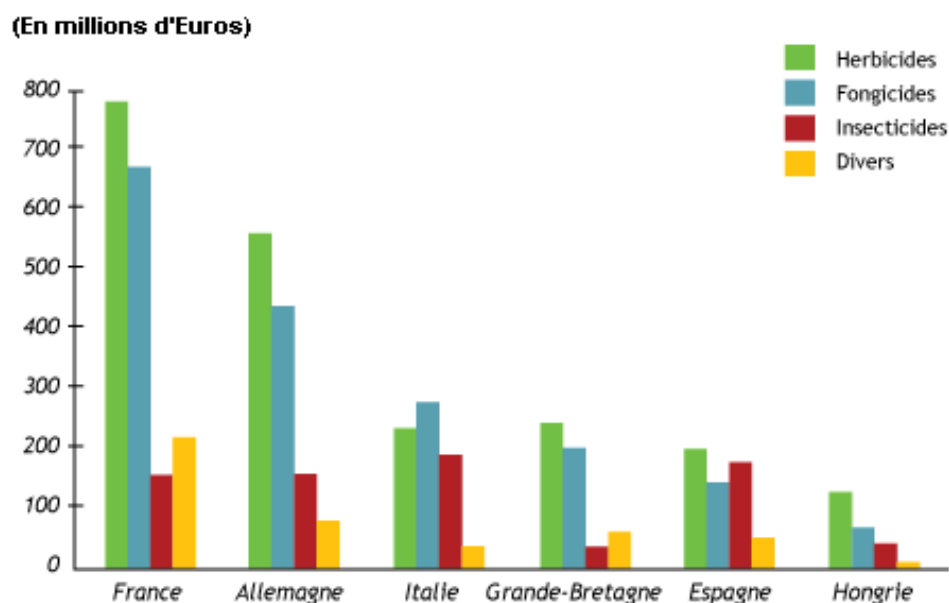
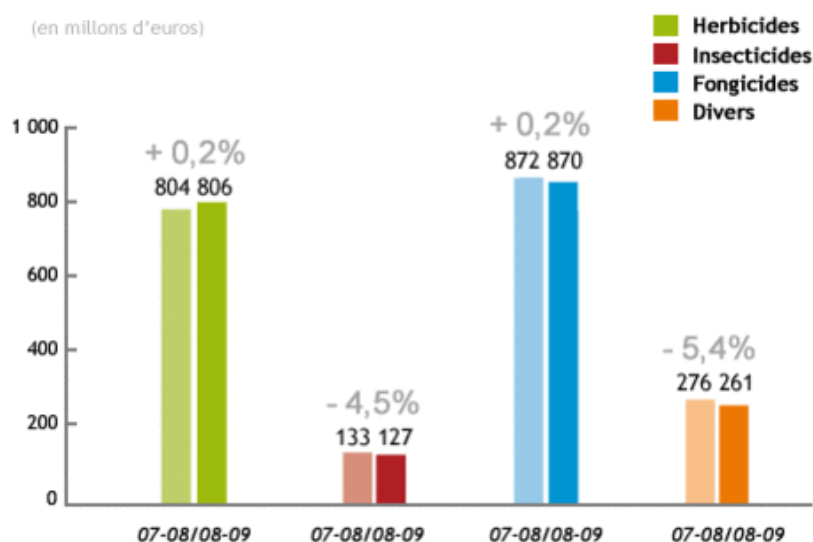


Figure 2 : Le marché Européen des Produits phytopharmaceutiques (UIPP 2013).

La France est aussi le premier utilisateur européen de produits phytopharmaceutiques devant l'Allemagne, et quatrième au plan mondial, derrière les États-Unis, le Brésil et le Japon. Le marché est dominé par les ventes d'herbicides et de fongicides en France (Figure 3).



En milliards d'Euros

Figure 3 : Évolution du chiffre d'affaire des campagnes agricoles par famille de produits en France (Source : UIPP 2010)

Sur 1,9 milliard d'euros, les herbicides et les fongicides représentent 1,2 milliard du marché des produits phytopharmaceutiques. En 2010, 61 900 tonnes ont été vendues, chiffres en baisse depuis 2002 (Figure 4).

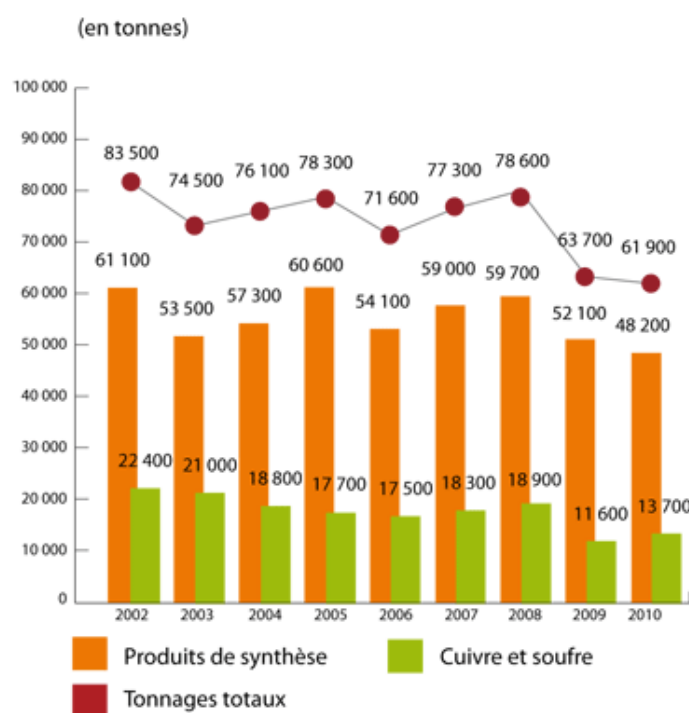


Figure 4 : Tonnages de substances actives vendues en France en 2010 (UIPP 2013)

Les produits de synthèse sont majoritaires en tonnages vendus. La figure 4 traduit aussi l'importance de la viticulture dans la consommation de produits phytopharmaceutiques puisque le cuivre et le soufre sont, pour l'essentiel, utilisés sur cette culture. Le marché des produits phytopharmaceutiques tend à diminuer avec une baisse de 20 000 tonnes entre 2002 et 2010. Ce phénomène s'explique par la diminution du nombre de spécialités autorisées sur le marché, la concentration des formulations (réduisant volumes et masses des produits vendus) et l'essor des cultures raisonnées et biologiques faisant moins appel aux produits phytopharmaceutiques que les cultures conventionnelles. Les décisions politiques visant à réduire l'utilisation des substances phytosanitaires contribuent aussi à cette tendance (Ministère chargé de l'Alimentation de l'Agriculture et de la Pêche 2008).

1.2.5 Évaluation des risques avant mise sur le marché

Cette partie traite de l'autorisation de mise sur le marché (AMM), en insistant plus particulièrement sur l'aspect de protection sanitaire des agriculteurs, pour comprendre les avantages et limites actuelles de l'évaluation des risques dans le processus d'AMM.

Objectifs de l'autorisation de mise sur le marché des produits phytopharmaceutiques

Pour pouvoir être commercialisé en France, un produit phytopharmaceutique doit obtenir au préalable une Autorisation de mise sur le marché (AMM). Cette AMM est valable 10 ans à compter de la première autorisation délivrée et est renouvelable. La demande d'AMM se fait par dossier déposé par l'industriel auprès de l'ANSES ou de l'EFSA pour une autorisation au niveau européen. Ce dossier vise à démontrer plusieurs points :

- Innocuité pour l'homme et l'environnement
- Efficacité et sélectivité des cultures traitées

Le dossier d'AMM

La réglementation de la mise sur le marché des produits phytopharmaceutiques est encadrée par la directive européenne 91/414/CEE du 15 juillet 1991 transposée en droit français en 1993 et applicable jusqu'en juin 2011. Depuis Le règlement CE N° 1107/2009 abroge les directives 79/117/CEE 91/414/CEE et y apporte la notion de zonage des AMM. Chaque État

membre peut évaluer un produit phytopharmaceutique et le principe de reconnaissance mutuelle implique qu'une autorisation délivrée par un état membre l'est aussi pour les autres. Ce principe a pour but de respecter le libre échange des marchandises dans l'UE qui est entré en vigueur avec les accords de Schengen. Néanmoins, les conditions environnementales et les cultures n'étant pas identiques dans tous les états, la communauté a été découpée en deux zones de validation des AMM : zones sud et nord. La France fait partie de la zone sud avec la Bulgarie, la Grèce, l'Espagne l'Italie, le Portugal, Malte et Chypre

Ce dossier comporte trois volets, un volet toxicologique, un volet sanitaire et un volet biologique. Le dossier scientifique doit montrer que le contrôle des produits phytopharmaceutiques et les résultats des études ont été obtenus avec des méthodes d'expérimentation et de contrôle standardisées. Le dossier toxicologique renseigne sur la toxicité du produit au plan humain et environnemental. Les toxicités aiguë, subaiguë et chronique sont développées dans ce dossier. Le devenir des substances actives (SA) dans l'environnement est aussi recherché dans cette partie. Le dossier biologique porte sur l'efficacité et l'apparition de résistances des SA ainsi que leur sélectivité vis-à-vis des plantes à traiter (Le Borgne 2010). Ce dossier comporte aussi une ou plusieurs formulations représentatives des usages demandés.

La procédure de validation du dossier d'AMM se fait en 2 temps. (1) La première phase concerne le principe actif seul et (2) la seconde phase de l'évaluation porte sur les préparations commerciales contenant la SA seule ou en associations. Le processus est le suivant :

1. Demande d'approbation par le producteur de la substance active auprès d'un État membre, demande accompagnée d'un dossier récapitulatif et d'un dossier complet
2. Dans les quarante-cinq jours à compter de la réception de la demande, l'État membre rapporteur envoie au demandeur un accusé de réception mentionnant la date de réception de la demande et vérifie si les dossiers, joints à celle-ci, contiennent tous les éléments nécessaires
3. Dans les douze mois à compter de la date de notification de la réception de la demande l'état membre rapporteur établit un rapport évaluant si la substance active est susceptible de satisfaire aux critères d'approbation.
4. Évaluation par les autres États membres

5. Avis de l'EFSA sur la SA et si elle satisfait aux critères d'approbation
6. Dans les six mois à compter de la réception des conclusions de l'autorité, la commission présente un rapport, dénommé «rapport d'examen», qui inscrit ou non la substance sur la liste positive des SA pouvant entrer dans la composition de produits.
7. Pour la France, l'ANSES évalue la préparation et transmet un avis au ministère en charge de l'agriculture
8. En France, l'ANSES remet un avis au Ministre en charge de l'Agriculture, sur la base des dossiers fournis par les industriels selon des protocoles reconnus internationalement. C'est le ministère en charge de l'Agriculture, via la direction générale de l'alimentation, qui est le décideur final de l'autorisation de mise sur le marché.

Pour qu'un produit phytopharmaceutique obtienne une AMM française, le demandeur de cette autorisation doit fournir des informations relatives à l'innocuité du produit pour l'Homme (utilisateur et consommateur) et l'environnement ainsi que l'efficacité et la sélectivité du produit sur la ou les cultures traitées. Les dossiers toxicologique et biologique constituent la partie scientifique de l'AMM.

Cas de L'AOEL dans l'AMM

Cette partie vise à présenter l'AOEL (en anglais Acceptable Operator Exposure Level, soit le niveau acceptable d'exposition pour l'opérateur). L'AOEL sert de référence au niveau réglementaire pour évaluer le risque lié à l'exposition professionnelle aux produits phytopharmaceutiques. Cette notion se fonde sur le risque à court terme et subchronique et s'appuie sur des études expérimentales.

L'AOEL est le niveau d'exposition journalier pour l'opérateur, acceptable, en dessous duquel l'utilisateur ne devrait pas encourir de risque pour sa santé. L'AOEL existe pour chaque matière active mise sur le marché, car il est obligatoire pour l'obtention de l'AMM et fait partie du dossier toxicologique. L'AOEL est une limite d'exposition basée sur les effets sanitaires, elle représente le rapport entre le NOAEL (nonobserved adverse effect level, en français le niveau d'exposition sans effet nefaste observé) et un facteur de sécurité (au moins 100). Le NOAEL est la dose (ou niveau d'exposition) sans effet nefaste observé, obtenue chez

l'animal. Cette dose se base sur la recherche d'effets toxicologiques sur des organes après administration de la substance étudiée. Le AOEL représente la dose interne acceptable pour toutes les voies d'exposition (respiratoire, dermique, orale, etc.) (EU 2006).

L'AOEL se construit de la façon suivante :

$$AOEL \text{ systémique } (mg.kg^{-1}.j^{-1}) = (NOAEL \text{ oral} \times B) / 100$$

- Où B est la biodisponibilité du produit (ex: 60 % orale, B= 0,6)
 - 100 est un facteur de sécurité
- NOAEL = Niveau d'exposition sans effet observé chez l'animal.

Les AOEL sont disponibles auprès de l'Union Européenne qui les valide. Pour chaque substance, un rapport est rédigé et le rapporteur est un état membre de l'UE. L'EFSA propose des résumés des AMM en ligne incluant l'AOEL pour chaque matière active.

1.2.6 Programmes de réduction de l'usage des produits phytosanitaires

Le plan Ecophyto (anciennement Ecophyto 2018) s'inscrit dans une démarche d'évaluation et de gestion des risques, en proposant différents axes de travail pour la réduction de l'usage des produits phytopharmaceutiques. Ce plan s'inscrit dans le nouveau cadre adopté en 2009 au niveau européen, en particulier le Règlement R (CE) 1107/2009 concernant la mise sur le marché des produits phytopharmaceutiques, qui introduit des règles d'AMM plus restrictives, et la Directive cadre 2009/128/EC sur une utilisation des pesticides compatible avec le développement durable. Le plan Ecophyto est un programme qui vise à réduire l'utilisation des produits phytopharmaceutiques en agriculture. Lancé en 2008, lors du Grenelle de l'Environnement, ce plan est piloté par le ministère en charge de l'agriculture. A son introduction en 2008, l'objectif de réduction de l'usage des produits phytopharmaceutiques fixé était de -50 % en 10 ans, remplacé depuis par une réduction progressive de leur utilisation.

Pour parvenir à cette réduction, plusieurs outils ont été développés :

- la formation des agriculteurs à une utilisation responsable des produits phytopharmaceutiques avec le Certiphyto (certificat individuel produits phytopharmaceutiques) ;
- La création d'un vaste réseau de fermes pilotes pour mutualiser les bonnes pratiques ;

-La mise en ligne dans chaque région, de bulletins de santé du végétal qui alertent les producteurs sur l'arrivée des parasites ;

-Un programme de contrôle de tous les pulvérisateurs qui sont utilisés pour l'application des produits phytopharmaceutiques.

Outre la diminution de l'usage des produits phytopharmaceutiques, ce plan a aussi pour objectif d'améliorer : les connaissances toxicologiques sur les produits phytopharmaceutiques, leurs usages, les mesures de protection des utilisateurs.

Le plan Ecophyto se découpe en 9 axes :

- Axe 1 : Suivre l'usage des produits phytopharmaceutiques ;
- Axe 2 : Diffuser les systèmes agricoles économes et les bonnes pratiques ;
- Axe 3 : Coordonner pour accélérer l'innovation ;
- Axe 4 : Former et encadrer pour une utilisation moindre et sécurisée ;
- Axe 5 : Surveiller pour traiter au plus juste ;
- Axe 6 : Prendre en compte les spécificités des DOM ;
- Axe 7 : Agir en zone non agricole ;
- Axe 8 : Organiser la gouvernance du plan et communiquer ;
- Axe 9 : Renforcer la sécurité pour les utilisateurs.

L'Institut National de la Recherche Agronomique (INRA) a publié, pour le compte du ministère de l'agriculture et de la pêche, un premier bilan sur la faisabilité du plan Ecophyto (INRA 2010). Ce bilan démontre la difficulté d'estimer, en l'état actuel des connaissances, la possibilité de réduire l'usage des produits phytopharmaceutiques de 50 %, comme visé par le plan Ecophyto. Cependant, le rapport estime qu'il est possible de diminuer de l'ordre de 20 % l'usage des produits phytopharmaceutiques sans conséquences financières majeures et sans bouleverser en profondeur les pratiques agricoles. Ce constat général est fortement contrasté selon le type de culture. Si l'impact de la réduction de l'usage des produits phytopharmaceutiques est difficilement estimable pour la viticulture et pour l'arboriculture, il semble qu'une diminution de l'ordre de 40 % soit possible pour les grandes cultures. Pour les autres types de cultures, la diminution semble plus complexe, en tout cas sans d'importants changements dans les pratiques agricoles, ce qui impliquerait des investissements plus conséquents pour y parvenir.

Les derniers chiffres, communiqués par le ministre chargé de l'agriculture, le 9 décembre 2012 à l'occasion de la réunion annuelle du Comité National d'Orientation et du Comité National d'Orientation et de Suivi (CNOS) du plan Ecophyto, font état d'une diminution de 5,7 % entre 2011 et 2012, et jusqu'à 11 % pour les insecticides et herbicides à usages agricoles (hors traitements de semences et hors produits de la liste "biocontrôle vert").

Le Certiphyto :

Le Certiphyto est un exemple concret des différents objectifs d'Ecophyto. Intégré dans l'Axe 4 du plan Ecophyto, le Certiphyto participe à la formation et à l'encadrement de l'usage des produits phytopharmaceutiques avec, comme objectif principal, une réduction de cette utilisation. Ce certificat d'aptitude à utiliser les produits phytopharmaceutiques s'adresse à toutes personnes qui manipulent, appliquent, conseillent ou mettent en vente des produits phytopharmaceutiques

4 voies d'accès existent pour valider ce certificat :

- Validation d'un diplôme agricole obtenu récemment (moins de 5 ans)
- Test sous forme de QCM (Questionnaire à choix multiples)
- Une journée de formation avec un test en fin de journée
- Deux jours de formation (pour les agriculteurs) mais sans vérification des connaissances acquises.

Le Certiphyto connaît une phase de test en 2010 avant sa mise en place définitive. Pour les agriculteurs durant cette phase de test, la seule voie d'accès disponible est la formation sur deux jours. La formation est assurée par des organismes agréés par la direction de l'enseignement et de la recherche du ministère de l'Agriculture (DGER). Parmi eux : le réseau des centres de formation professionnelle pour adultes, les chambres d'agriculture, des distributeurs agricoles, l'Association française de protection des plantes (voies C et D), des fédérations professionnelles, l'Association pour la formation nationale agricole et des formateurs indépendants.

Concernant le volet sanitaire, le Certiphyto insiste sur plusieurs points :

- L'usage des équipements de protections individuelles lors de la manipulation des produits phytopharmaceutiques ;
- La réduction des doses et les traitements raisonnés ;
- L'importance de la voie dermique dans la contamination ;
- L'usage et l'intérêt des Fiche de Données de Sécurité (voir annexe III), ainsi que la lecture et la compréhension de phrases de risque.

1.3 Problématique sanitaire

L'usage des produits phytopharmaceutiques est une des composantes majeures de l'agriculture moderne. Cette utilisation dont les bénéfices sur les rendements et la qualité des produits sont démontrés, s'accompagne aussi d'une exposition des agriculteurs aux produits phytopharmaceutiques. Cependant cette exposition est particulière et spécifique au monde agricole puisque les agriculteurs manipulent les produits sous formes concentrées lors de la préparation de la bouillie avant pulvérisation. Les agriculteurs sont, avec les techniciens et ouvriers des usines de préparation des produits phytopharmaceutiques, les seuls individus à utiliser et à être exposés aux produits phytopharmaceutiques sous forme concentrée. Actuellement, l'approche sanitaire du risque pesticide se focalise essentiellement sur le pesticide en lui-même : étude des effets toxicologiques des produits phytopharmaceutiques, développement des formulations pour réduire les doses et l'exposition ou encore étude des voies de contamination de l'agriculteur. Mais la perception du risque phytosanitaire par les agriculteurs et l'influence de cette perception sur leurs comportements sont peu connues. Essentiellement descriptives, les études de perception du risque en milieu agricole ne concluent pas sur le risque sanitaire associé aux différentes pratiques et méthodes de travail influencées par la perception. L'utilisation des produits phytopharmaceutiques malgré leur perception négative indique que les agriculteurs développent des mécanismes d'acceptation du risque. Ces mécanismes peuvent avoir des conséquences sur les pratiques agricoles afin de réduire le risque ou sa perception. L'étude des mécanismes de perception du risque et ses conséquences sur l'exposition des agriculteurs comparées aux études toxicologiques, d'expologie et épidémiologiques devraient permettre de caractériser le risque sanitaire lié aux comportements des agriculteurs. La mise en commun de l'approche du risque réel et du risque perçu sur les produits phytopharmaceutiques, devrait permettre de quantifier l'importance de la perception sur le risque sanitaire. Dans ce travail, les deux composantes de cette problématique seront développées.

Le premier chapitre portera sur l'utilisation des produits phytopharmaceutiques et leur toxicologie. Le deuxième chapitre détaillera les dangers de l'utilisation des pesticides chez l'agriculteur. La troisième partie sera consacrée à l'évaluation des risques chez les utilisateurs

de pesticides, et leur perception du risque. La quatrième partie développera les matériels et méthodes. Le cinquième chapitre proposera une mise en commun des deux approches et les résultats. La dernière partie de la thèse conclura ces travaux.

1.4 Objectifs

Ce travail vise à comprendre en premier lieu comment les agriculteurs perçoivent le risque sanitaire lié aux produits phytopharmaceutiques et comment cette perception influe sur les méthodes de travail. Dans un second temps l'approche quantitative doit permettre d'évaluer le rôle de cette perception sur l'exposition des agriculteurs aux produits phytopharmaceutiques et le risque sanitaire associé. C'est une démarche exploratoire et dont l'objectif est de déterminer si l'aspect perception du risque doit être pris en compte dans le processus global d'exposition des agriculteurs.

En premier lieu, un état de l'art sur le risque sanitaire lié aux produits phytopharmaceutiques doit permettre de définir le contexte dans lequel l'agriculteur et sa perception du risque s'inscrivent. Plusieurs sous-objectifs sont définis pour répondre à ces objectifs :

- Connaître l'usage des produits phytopharmaceutiques en France ;
- Effectuer un état des connaissances sur la toxicité humaine des produits phytopharmaceutiques ;
- Déterminer la population agricole qui est la plus concernée par la problématique sanitaire liée aux produits phytopharmaceutiques ;
- Définir le ou les produits phytopharmaceutiques sur lesquels travailler en priorité au regard de leur toxicité ;
- Sélectionner une population de référence pour l'étude ;
- Quantifier l'exposition des agriculteurs aux produits phytopharmaceutiques.

Sur l'aspect perception du risque, les objectifs sont les suivants :

- Décrire la perception du risque sanitaire chez les agriculteurs ;
- Identifier les facteurs et déterminants de la perception du risque et leur importance ;
- Comprendre les mécanismes de la perception sur les comportements et pratiques de sécurité.

Ce travail suit la méthodologie d'évaluation des risques, et propose d'ajouter, au processus classique d'évaluation des risques, l'aspect de la perception du risque afin de mieux évaluer l'impact sanitaire de la perception.

Deuxième Partie : Risques sanitaires liés à l'utilisation des produits phytopharmaceutiques

Le risque sanitaire se définit comme étant le danger rapporté à l'exposition. Le risque sanitaire se détermine par l'application de la méthode d'évaluation de risque sanitaire (Committee on the Institutional Means for Assessment of Risks to Public Health 1983 ; AFNOR 2006):

$$\textbf{Risque} = \textbf{Danger} \times \textbf{Exposition}$$

Déterminer le danger d'un produit et son exposition permet de quantifier le risque. L'utilisation d'un produit très dangereux peut être sans risque si l'exposition à celui-ci est nulle. A l'opposé un produit présentant peu de danger, peut s'avérer très risqué si l'exposition est très importante (aiguë ou chronique).

Ce chapitre porte sur le risque sanitaire lié aux produits phytopharmaceutiques chez l'homme. Il se base sur la définition du risque, en présentant l'état des connaissances sur l'exposition et le danger lié aux produits phytopharmaceutiques.

2.1 Le traitement phytosanitaire

Certains éléments de la suite de ce travail se focalisent sur une partie du traitement phytosanitaire, nécessitant le détail du déroulement classique d'un traitement phytopharmaceutique.

Le traitement phytosanitaire, avec l'utilisation du pulvérisateur, est composé de plusieurs phases de travail.

En premier, la préparation de la bouillie est composée de plusieurs étapes et, généralement, elle est réalisée sur l'exploitation, dans une zone de travail où il y a un point d'eau. L'agriculteur effectue le remplissage en eau claire de la cuve principale du pulvérisateur (photo1). L'opérateur utilise généralement un tuyau d'eau claire pour remplir la cuve. En fonction des exploitations, les tuyaux peuvent être de type jardinage ou plus évolué avec des vannes type « pompier », avec la présence de clapets anti-retours et de compteurs de débit. L'agriculteur peut aussi suivre le niveau de remplissage par la présence d'une jauge sur le pulvérisateur.



Photo 1 : remplissage de la cuve

Ensuite, un dosage des produits à incorporer est réalisé. Les produits se présentent sous formes emballées telles que des bidons, des cartons, des sacs ou encore des sachets hydrosolubles. Le volume d'eau de remplissage et la quantité du produit utilisé dépendront de

la surface à traiter et du débit de pulvérisation. Les produits sont stockés dans un local phytosanitaire (photo 2). Une fois dosés, les produits sont incorporés dans la cuve principale. Le mélange dans la cuve doit être agité pour assurer l'homogénéité du mélange ou éviter la sédimentation des suspensions. Ceci est assuré par l'allumage de la prise de force, située dans la cabine du tracteur. Cette prise de force transfère le couple moteur du capteur vers un agitateur incorporé dans la cuve. La pression de la bouillie dans le circuit est contrôlée par un manomètre positionné sur le pulvérisateur.



Photo 2 : un local phytosanitaire

La préparation est suivie de la pulvérisation de la bouillie sur les cultures, c'est la phase de traitement. L'agriculteur se rend sur la parcelle à traiter avec son pulvérisateur et enclenche la pulvérisation depuis son tracteur (photo 3). La bouillie est pulvérisée sur la végétation par les buses, elles-mêmes situées sur les rampes qui sont reliées à la cuve principale du pulvérisateur. Pendant le traitement, l'agriculteur est en général dans la cabine du tracteur, cependant certains tracteurs n'en sont pas équipés. La surface de traitement influe sensiblement sur la durée du traitement, de quelques minutes pour une rangée de vigne à plusieurs jours pour les plus grandes parcelles céréalières (moyenne fournie par l'Agreste).



Photo 3 : la pulvérisation

Une fois la pulvérisation terminée, l'agriculteur réalise une phase de rinçage du pulvérisateur. Cette phase consiste à rincer l'intérieur des éléments ayant été en contact avec la bouillie. Pour cela, l'agriculteur tourne une manette en position rinçage, située sur le pulvérisateur ou, dans de plus rares cas, dans la cabine. L'eau claire, contenue dans une seconde cuve, est envoyée dans la cuve principale puis dans les différents circuits de pulvérisation. L'eau souillée est expulsée sous forme de jet de pulvérisation à l'extérieur par les buses des rampes (photo 4). Cette étape peut être effectuée sur les parcelles ou sur une aire spécifique dans l'exploitation, afin de limiter la contamination environnementale. L'agriculteur utilise un tuyau d'eau pour rincer spécifiquement certains éléments comme l'intérieur de la cuve principale, les filtres et les buses. L'agriculteur peut être amené à faire la vidange de la cuve principale pour enlever la totalité de la bouillie encore présente. Il lui suffit d'ouvrir et de refermer le système de vidange situé sous la cuve principale. Ces opérations sont réalisées sur l'exploitation. Le rinçage terminé, l'agriculteur réalise une phase de lavage des éléments extérieurs du pulvérisateur. Elle est généralement effectuée sur une zone de lavage dans l'exploitation à proximité d'un point d'eau. Cette phase consiste à enlever les résidus déposés sur le pulvérisateur lors de la pulvérisation. L'agriculteur utilise un tuyau d'eau claire ou un jet d'eau haute pression pour réaliser ce nettoyage.



Photo 4 : nettoyage de la cuve et des rampes de pulvérisation post traitement

Les phases de rinçage et de lavage sont essentielles pour éviter que des résidus de produit ne sèchent sur le pulvérisateur ou dans le circuit. Cet entretien du pulvérisateur permet de réduire les éventuels problèmes techniques et de garder une pulvérisation de qualité.

2.2 Voies de contamination

Trois voies de pénétration naturelle des produits chimiques sont possibles dans l'organisme (Dowling et Seiber 2002) : les voies orale, respiratoire et dermique.

La voie orale est prépondérante chez les personnes ne travaillant pas en contact direct avec des produits phytopharmaceutiques. C'est la voie d'exposition majoritaire de la population générale via l'alimentation. La voie orale n'est décrite chez les agriculteurs que pour les intoxications volontaires, telles que les tentatives de suicide (Testud 2007). Les études actuelles tendent à montrer que cette voie d'exposition est négligeable pour les agriculteurs (Durham et Wolfe 1962 ; US-EPA 1992 ; Fenske 1993 ; Colosio, Fustinoni *et al.* 2002 ; Dosemeci, Alavanja *et al.* 2002 ; Aprea, Terenzoni *et al.* 2004 ; Colosio, Birindelli *et al.* 2004 ; Berger-Preiß, Boehncke *et al.* 2005 ; Fenske 2005 ; Baldi, Lebailly *et al.* 2006 ; Angerer, Ewers *et al.* 2007 ; Lebailly, Bouchart *et al.* 2009).

La voie respiratoire est importante pour de nombreux travailleurs dans des milieux confinés (Berger-Preiß, Boehncke *et al.* 2005), mais, pour les agriculteurs, cette voie d'exposition est négligeable dans le cas des travaux de pulvérisation en plein champ (Dowling et Seiber 2002 ; Baldi, Lebailly *et al.* 2006 ; Lebailly, Bouchart *et al.* 2009).

Plusieurs critères sont responsables de la capacité de pénétration des produits phytopharmaceutiques par la voie respiratoire chez les agriculteurs : la pression de vapeur des produits employés et le matériel utilisé (les atomiseurs produisant de petites gouttes sont plus susceptibles de favoriser une exposition respiratoire (Dowling et Seiber 2002). Le confinement et la ventilation du lieu (lors des pulvérisations sous serres par exemple) ou encore les transformations chimiques des produits phytopharmaceutiques dans l'air (Atkinson, Guicherit *et al.* 1999) jouent aussi un rôle. Dans le premier cas, la contamination se fait par adsorption des produits phytopharmaceutiques sur des aérosols et, dans le second cas, les produits fortement volatils sont facilement respirés par l'utilisateur en cas de défaut de protection (Dowling et Seiber 2002). Dowling recommande ainsi d'éviter les produits phytopharmaceutiques à pression de vapeur supérieure à 10^{-8} atm et d'éviter les formes liquides de produits phytopharmaceutiques en milieux confinés.

Néanmoins, les études sur les paramètres physico-chimiques influençant la pénétration des produits chimiques par voie respiratoire sont nombreuses et contradictoires. L'importance de la taille des particules sur leurs capacités à pénétrer dans le système respiratoire est étudiée depuis de nombreuses années. Cette taille est considérée comme un critère essentiel : les particules les plus fines pénétrant plus profondément dans le système respiratoire (Heyder, Gebhart *et al.* 1986 ; Glover, Chan *et al.* 2008). Les connaissances en rhéologie ont aussi montré que la taille des particules n'était pas seule responsable de la capacité de pénétration dans le système respiratoire : la forme et l'état d'ionisation des particules jouant un rôle dans cette capacité, ainsi que l'âge, le sexe et les capacités respiratoires des individus (Brown, Gerrity *et al.* 1995).

La voie d'exposition majeure pour les agriculteurs est la voie cutanée, en particulier par les mains (Sanderson, Ringenburg *et al.* 1995 ; De Vreede, Brouwer *et al.* 1998). Le passage transdermique est évalué et précisé dans le dossier d'AOEL. Néanmoins, cette information n'est pas toujours facilement accessible et varie selon les substances. Par défaut, la valeur de passage transdermique est de 100%. Dans certains cas, le dossier d'AMM précise la valeur de passage transdermique. Comparativement, la voie respiratoire ne serait responsable que d'environ 1 % de la contamination totale de l'opérateur (Baldi, Lebailly *et al.* 2006). Les études sur l'exposition par la voie dermique montrent que cette voie est responsable de 60 % de l'exposition totale de l'agriculteur aux produits phytopharmaceutiques (Fenske 1990). Les mains représentent près de la moitié de cette exposition dermique (Lebailly, Bouchart *et al.* 2009). Ces travaux confirment ceux de Machado-Neto de 2001 (Machado-Neto 2001) estimant que 99 % de l'exposition totale aux pesticides se fait par la peau en milieu agricole, y compris dans les milieux confinés où Aprea *et al.* ont démontré que la voie respiratoire ne contribuait, là aussi, qu'à un faible pourcentage de l'exposition dans des serres des plantes ornementales (Aprea, Centi *et al.* 2005).

2.3 Toxicologie des produits phytopharmaceutiques

La classification toxicologique des substances est séparée en 2 catégories : les effets aigus survenant immédiatement, ou quelques heures après l'exposition, et les effets chroniques ou retardés apparaissant plusieurs années après l'exposition. Les effets sur les long et court termes sont nombreux et, sur l'ensemble des produits phytopharmaceutiques commercialisés en Europe, 32 des 76 fongicides, 25 des 87 herbicides, 24 des 66 insecticides se révèlent avoir au moins un effet sanitaire chronique ou aigue chez l'Homme (carcinogène, perturbateur endocrinien, reprotoxique ou un effet aigu) (Karabelas, Plakas *et al.* 2009).

Cette partie vise à présenter l'état des connaissances des effets toxicologiques des produits phytopharmaceutiques pour les utilisateurs et à mieux appréhender les mécanismes d'action pour les différents effets sanitaires observés.

2.3.1 Effets sanitaires aigus

En 2010, l'Organisation Mondiale de la Santé (OMS) a publié une classification toxicologique des produits phytopharmaceutiques (WHO 2010). Cette classification repose sur les catégories de toxicité aiguë par voies orale et cutanée définies par le nouveau système d'étiquetage des produits chimiques (incluant les produits phytopharmaceutiques) : le SGH (Système Généralisé Harmonisé de classification et d'étiquetage des produits chimiques) de l'UNECE (United Nations Economic Commission for Europe), qui fait partie du nouveau système REACH (Enregistrement, Evaluation, Autorisation des substances chimiques selon le règlement Européen 1907/2006 CE).

Cette classification est détaillée Tableau 3:

Tableau 3 : Catégories de menace présentée par un produit selon le SGH

	Critères de classification			
	Voie orale		Voie dermique	
Catégorie GHS	DL50 (mg/kg pc) ^a	Risque	DL50 (mg/kg pc) ^b	Risque
Catégorie 1	<5	Mortel par ingestion	<50	Mortel en cas de contact avec la peau
Catégorie 2	5 – 50	Mortel par ingestion	50 – 200	Mortel en cas de contact avec la peau
Catégorie 3	50 – 300	Toxique par ingestion	200 – 1000	Toxique en cas de contact avec la peau
Catégorie 4	300 – 2000	Nocif par ingestion	1000 – 2000	Nocif en cas de contact avec la peau
Catégorie 5	2000 - 5000	Peut-être nocif par ingestion	2000 - 5000	Peut-être nocif en cas de contact avec la peau

a Pour les données orales, le rat est l'espèce de référence. D'autres espèces peuvent être utilisées si les données sont de meilleures qualités que chez le rat.

b Pour les données par voie dermique, le lapin est l'espèce de référence, D'autres espèces peuvent être utilisées si les données sont de meilleures qualités que chez le lapin.

L'intoxication aiguë aux produits phytopharmaceutiques dépend de la classe chimique du produit utilisé. Les données varient en quantité et en qualité selon les molécules. Parmi les informations disponibles, la DL50 (Dose Létale 50 %), permet d'avoir un aperçu de la toxicité aiguë (CCOHS 2005). La DL50 correspond à la dose administrée nécessaire pour tuer la moitié des individus de la population testée, en général le rat dans les études toxicologiques. Plus cette dose est faible, plus la substance est toxique.

Le règlement (CE) N° 1107/2009 définit le processus d'autorisation de mise sur le marché des produits phytopharmaceutiques. Au sein de ce processus, la toxicité sur l'homme des produits phytopharmaceutiques est étudiée. Les conséquences sanitaires des intoxications aiguës aux produits phytopharmaceutiques varient sensiblement en fonction de la dose, de la durée d'exposition et de l'individu. Les symptômes et les causes des effets aigus des produits phytopharmaceutiques aux faibles doses sont peu spécifiques et les biais d'interprétation sont nombreux, il est donc difficile d'incriminer spécifiquement une substance active lorsqu'ils se manifestent. De plus, l'action des produits phytopharmaceutiques sur l'organisme peut être liée à la substance active en elle-même, aux solvants, à la potentialisation avec d'autres agents environnementaux (INERIS 2004), ou à des potentialisations toxicologiques avec d'autres produits phytopharmaceutiques (Reffstrup, Larsen *et al.* ; Carpy, Kobel *et al.* 2000 ; Mumtaz, Ruiz *et al.* 2007). Les mécanismes de toxicologie aiguë demeurent peu connus. Le mécanisme

aigu le mieux décrit est l'inhibition enzymatique propre à certaines classes de produits phytopharmaceutiques.

Inhibition enzymatique :

La capacité d'inhibition des enzymes dépend des produits phytopharmaceutiques. Parmi ceux-ci, deux grandes familles provoquent une inhibition enzymatique chez l'Homme : les organophosphorés et les carbamates (Testud 2007 ; INSERM 2013) ⁷.

Les organophosphorés. Ce sont des insecticides peu rémanents dans l'environnement et efficaces. L'utilisation des organophosphorés a sensiblement augmenté à partir des années 70 suite à la succession d'interdictions des organochlorés qu'ils remplacent. La toxicité importante des organophosphorés serait à l'origine de 100000 morts par an dans le monde et liée à des intoxications accidentelles ou volontaires (Testud 2007). Les effets des organophosphorés sont exclusivement neurologiques liés à l'inhibition de l'acétylcholine estérase (AChE). Cette classe de produits phytopharmaceutiques empêche l'action du neurotransmetteur (l'acétyl choline) en entrant en compétition avec l'ACh sur les récepteurs muscariniques et nicotiniques situés sur différents organes du corps (Bakry, el-Rashidy *et al.* 1988 ; Mileson, Chambers *et al.* 1998). La DL50 chez le rat des organophosphorés varie de 16 mg.kg⁻¹ pour l'azinphos-méthyl à 3100 mg.kg⁻¹ pour le téméphos. L'intoxication aiguë apparaît de 30 à 90 minutes après l'exposition. La mort intervient par des complications cardiaques (bradycardie profonde, bloc auriculo-ventriculaire, fibrillations, torsade de pointes et collapsus) et arrêt respiratoire notamment par arrêt de la contraction musculaire du diaphragme.

Les carbamates. Ce sont des insecticides. Les carbamates inhibent la cholinestérase tout comme les organophosphorés. Les carbamates possèdent généralement une toxicité aiguë majeure (DL50 de 1 mg.kg⁻¹ dans le cas de l'albicarbe, composé interdit en France, et une DL50 de 850 mg.kg⁻¹ pour le carbaryl) et ne sont pas connus pour être reprotoxiques ni génotoxiques. Les effets des carbamates se traduisent par une intoxication cholinergique sévère. Pour les professionnels, l'intoxication fait souvent suite à une mauvaise protection lors de leur utilisation et se traduit par des symptômes digestifs (douleurs abdominales, nausées, vomissements, ...), des symptômes généraux (asthénie, malaises, sueurs, hyper salivation) et des symptômes neurologiques globalement proches de ceux observés pour les

⁷ INSERM : Institut national de la santé et de la recherche médicale

organophosphorés (Bardin, Van Eeden *et al.* 1994). Plusieurs intoxications ont eu lieu malgré le port d'un masque respiratoire par le professionnel, ce qui prouve l'importance de la voie cutanée pour ces composés.

L'effet d'inhibition des enzymes par certains produits phytopharmaceutiques est immédiat et serait la cause des effets aigus ressentis lors de leur utilisation. Ces effets sont peu spécifiques et peuvent être confondus avec d'autres substances aux effets similaires tels que les gaz d'échappements, la chaleur ou la déshydratation (Waggoner, Kullman *et al.* 2011). Le programme Phyt'Attitude de la MSA (MSA 2010) détaille les conditions d'expositions aiguës aux produits phytopharmaceutiques lors de leur utilisation ainsi que les conséquences sanitaires.

Autres effets aigus des produits phytopharmaceutiques :

D'autres effets aigus peuvent se manifester lors de l'utilisation des produits phytopharmaceutiques : irritations dermiques et oculaires, maux de tête, troubles respiratoires, maux de ventre, nausées et vomissements. Ces effets sont peu spécifiques aux produits phytopharmaceutiques et il est difficile, en l'état actuel des connaissances, de les imputer directement à ces produits.

Le programme Phyt'attitude :

Le programme financé par la Mutualité Sociale Agricole (MSA) depuis 1997, Phyt'Attitude recense les incidents d'exposition aux produits phytopharmaceutiques auprès des agriculteurs en France (Dupupet, Berson-Vigouroux *et al.* 2012). Ce programme, spécifique aux expositions aiguës des produits phytopharmaceutiques, décrit les conséquences sanitaires suite à ces expositions. Les résultats de ce programme permettent de comprendre les causes et conséquences de l'exposition aux produits phytopharmaceutiques par les agriculteurs lors de leurs utilisations.

Un premier bilan de ce programme a été publié en 2010 pour les 10 ans de sa mise en place (MSA 2010). Ce rapport indique comment les agriculteurs peuvent s'exposer accidentellement lors de l'utilisation des produits phytopharmaceutiques. Le programme Phyt'Attitude recense les cas d'intoxications aiguës aux produits phytopharmaceutiques lorsqu'ils sont déclarés par les agriculteurs ou un médecin mais la déclaration n'est pas obligatoire. Depuis 1997, ce sont en moyenne 174 dossiers annuels qui sont recensés. Entre 1997 et 2007, Phyt'Attitude a reçu

1909 signalements. 155 dossiers ont été classés sans suite par manque d'éléments et 1554 ont été intégrés dans la base de données. Ces dossiers sont relatifs à des intoxications aiguës ou subaiguës aux produits phytopharmaceutiques. Les autres dossiers liés à des expositions à d'autres produits chimiques (76) ou à caractère chronique seul (124), ont été expertisés mais n'ont pas été retenus dans la base. Ce chiffre est faible en comparaison du nombre d'agriculteurs utilisateurs de produits phytopharmaceutiques car de nombreux biais existent à commencer par la sous déclaration. Les agriculteurs qui présentent des intoxications bénignes attendraient la guérison spontanée sans alerter le système Phyt'Attitude. Certains troubles, comme des céphalées, des irritations cutanéomuqueuses ou des troubles digestifs dont l'origine pourrait être rattachée à une exposition à des produits phytopharmaceutiques, ne sont que rarement mis en relation directe avec l'usage des produits phytopharmaceutiques. D'autres causes sont désignées comme une origine alimentaire, la fatigue, des allergies diverses, une exposition au soleil, etc. Il apparaît ainsi que la culture des céréales et de la vigne sont les deux cultures où sont répertoriés le plus d'incidents par Phyt'Attitude (Tableau 4).

Tableau 4 : Cible du traitement lors de l'exposition. Résultats entre 1997 et 2007 exprimés en nombre de dossiers pour 10 000 Ha (MSA 2010).

<i>Culture</i>	<i>1997 - 2007</i>
<i>Céréales</i>	23,0
<i>Vignes</i>	20,6
<i>Fleurs, arbres d'ornement, espaces verts</i>	10,9
<i>Légumes</i>	9,1
<i>Semences</i>	8,5

Les céréales étant le premier type de culture en France, celle-ci est logiquement en tête de celles recensant le plus d'incidents. En revanche la viticulture, avec environ 70 000 exploitations viticoles contre 130 000 exploitations céréalières (Agreste 2010), offre des résultats proches de ceux observés pour la culture des céréales. Le programme indique que les viticulteurs se surexposent aux produits phytopharmaceutiques avec un nombre d'incidents à l'hectare proche de celui de la céréaliculture.

Les symptômes évoqués par les agriculteurs dans Phyt'Attitude sont similaires à ceux décrits dans la littérature concernant les produits phytopharmaceutiques (Testud 2007) : il s'agit essentiellement de troubles cutanés et digestifs (MSA 2010), classés Figure 5.

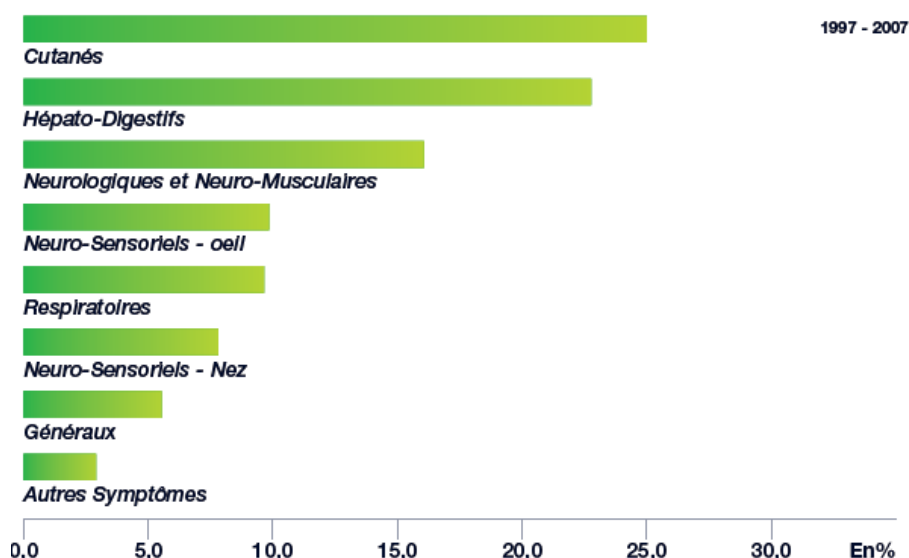


Figure 5 : Les principaux symptômes d'une exposition aiguë aux produits phytopharmaceutiques, exprimés en pourcentage (MSA 2010)

Dans ce rapport, les fongicides sont incriminés dans plus d'un tiers des signalements d'effets aigus. Environ un tiers concernent les acaricides et insecticides (pour 1/5^e). Les insecticides ne représentent que 34 % des substances actives vendues contre 52,6 % pour les fongicides et 33,6 % pour les herbicides (MSA 2010 ; UIPP 2010). Les insecticides seraient ainsi surreprésentés dans les dossiers traités par Phyt'Attitude. Le rapport Phyt'Attitude met aussi en évidence les phases où l'exposition, à l'origine de la déclaration, a eu lieu. Les dossiers où l'exposition se fait durant la pulvérisation représentent 40,1 % de l'ensemble des dossiers. Ces résultats de Phyt'Attitude sont en accord avec les études portées sur les phases d'expositions des agriculteurs lors des traitements. La préparation et la pulvérisation de la bouillie sont particulièrement exposantes pour l'agriculteur (Baldi, Lebailly *et al.* 2006 ; Lebailly, Bouchart *et al.* 2009 ; Vitali, Protano *et al.* 2009). Le rapport Phyt'Attitude met en lumière la fréquence et l'importance des expositions aiguës et prouverait que les opérateurs s'exposent plus aux produits phytopharmaceutiques lors de leur travail.

2.3.2 Effets sanitaires chroniques

Les effets chroniques des produits phytopharmaceutiques concernent des pathologies variées et les effets surviennent, pour la plupart, plusieurs années après l'exposition. L'Institut National de Santé et de Recherche Médicale a publié, en 2013, une expertise collective sur les

effets des produits phytopharmaceutiques sur la santé (INSERM 2013), dont le Tableau 5 est tiré.

Tableau 5 : Bilan des études analysées sur l'exposition aux produits phytopharmaceutiques et la survenue d'une pathologie chez l'adulte et l'enfant

<i>Pathologies</i>	Population concernées par un excès de risque significatif	Présomption d'un lien
<i>Lymphome non hodgkinien</i>	Agriculteurs, applicateurs de produits phytopharmaceutiques, ouvriers en industrie de production.	++
<i>Cancer de la prostate</i>	Agriculteurs, applicateurs de produits phytopharmaceutiques, ouvriers en industrie de production.	++
<i>Myélome multiple</i>	Agriculteurs, applicateurs de produits phytopharmaceutiques.	++
<i>Maladie de parkinson</i>	Agriculteurs, applicateurs de produits phytopharmaceutiques	++
<i>Leucémie</i>	Agriculteurs, applicateurs de produits phytopharmaceutiques, ouvriers en industrie de production.	+
<i>Maladie d'Alzheimer</i>	Agriculteurs	+
<i>Troubles cognitifs</i>	Agriculteurs	+
<i>Impact sur la fertilité, la fécondabilité</i>	Populations professionnelles exposées	+
<i>Maladie de Hodgkin</i>	Population agricole	+/-
<i>Cancer du testicule</i>	Population agricole	+/-
<i>Tumeurs cérébrales (gliomes méningiomes)</i>	Population agricole	+/-
<i>Mélanome cutanée</i>	Population agricole	+/-
<i>Sclérose latérale amyotrophique</i>	Agriculteurs	+/-
<i>Troubles anxio-dépressifs.</i>	Agriculteurs, agriculteurs ayant des antécédents d'intoxications aiguës, applicateurs.	+/-

++ : présomption forte, + : présomption moyenne, +/- : présomption faible

Bien que cette expertise collective ne couvre pas l'ensemble des pathologies (notamment les maladies respiratoires) celle-ci résume l'état actuel des connaissances des produits phytopharmaceutiques sur la santé humaine. Cette expertise indique le niveau de présomption de pathologies en lien avec l'exposition aux produits phytopharmaceutiques. Parmi ces pathologies, les cancers y sont fortement représentés, avec les lymphomes non Hodgkiniens, le cancer de la prostate, les myélomes multiples pour ceux ayant un fort lien avec l'exposition

aux produits phytopharmaceutiques. Devant le lien présumé fort entre certains cancers et l'exposition aux pesticides, ce travail se focalisera sur cette pathologie chez les agriculteurs.

Néanmoins, dans le but d'être représentatif la partie suivante présentera rapidement les autres effets sanitaires possibles sur le long terme et les mécanismes toxicologiques des pesticides. Certains mécanismes d'action, comme le stress oxydatif, peuvent avoir des conséquences sanitaires multiples.

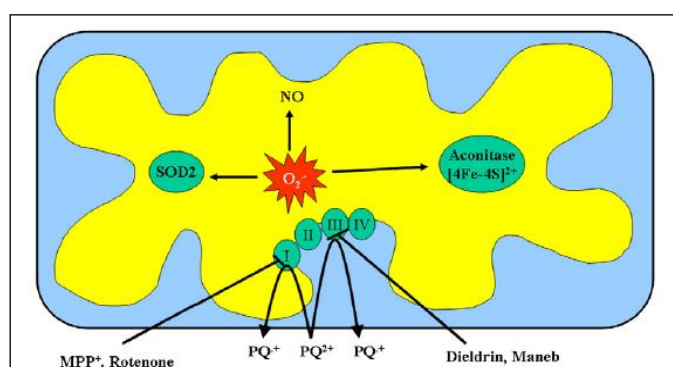
Mécanismes d'action toxicologique des produits phytopharmaceutiques :

Stress oxydatif et produits phytopharmaceutiques

Le stress oxydatif est l'apparition, dans l'organisme, de dérivés réactifs de l'oxygène (DRO). Cette partie s'est focalisée sur l'apparition des DRO afin de comprendre la toxicodynamique des produits phytopharmaceutiques. Les conséquences sanitaires de ces DRO sont nombreuses, mais les plus décrites portent sur la génotoxicité et l'apparition de cancers. Même si ce travail s'est focalisé sur les effets cancérogènes des produits phytopharmaceutiques, la compréhension des mécanismes de stress oxydatif permet d'appréhender les conséquences sanitaires de stress oxydatif, au delà des effets cancérogènes.

Les DRO sont des composés issus du métabolisme de l'oxygène aboutissant à l'apparition d'éléments chimiques réactifs instables (dits radicaux libres) dont l'électron non apparié cherche à réagir avec divers composés dans le but de stabiliser la molécule. Au sein de l'organisme, l'ADN (Bagchi, Bagchi *et al.* 1995), les protéines et les lipides des parois cellulaires (par phénomène de peroxydation lipidique) sont les principales cibles de ces radicaux libres. L'attaque par les DRO de ces composants cellulaires peut aboutir à des pathologies de gravités variables. L'organisme dispose de différents mécanismes de défense pour lutter contre ce stress oxydatif avec notamment des enzymes (superoxyde dismutase (SOD), catalase, glutathion peroxydase...) et des accepteurs de radicaux libres dont les principaux sont les vitamines C et E. La dégradation de l'ADN est corrigée par des enzymes (Valko, Leibfritz *et al.* 2007), cependant si la correction échoue, la cellule meurt par apoptose (Kannan et Jain 2000). La cancérisation est possible si les mécanismes de correction se révèlent à leurs tours inefficaces. Le rôle du stress oxydatif sur l'organisme demeure en partie incompris, mais il serait en cause dans les mutations génétiques, le développement des

cancers, les cataractes, les problèmes articulaires, les accidents cardiovasculaires et cérébraux et plus généralement le vieillissement (Abdollahi, Ranjbar *et al.* 2004). Les dysfonctions des mitochondries sont aussi à l'origine de la formation de dérivés réactifs de l'oxygène. Ces altérations mitochondriales ont été mises en évidence lors de l'exposition de mitochondries à des produits phytopharmaceutiques comme le mancozèbe et les éthylène-bis-thiocarbamates (Domico, Zeevalk *et al.* 2006 ; Domico, Cooper *et al.* 2007 ; Zang, Wang *et al.* 2008). Parmi les produits phytopharmaceutiques étudiés, la roténone, le paraquat, le dieldrin et le manèbe (Zhang, Fitsanakis *et al.* 2003) ont montré leurs actions délétères sur les mitochondries. Ainsi, comme l'illustre la Figure 6, le MPP⁺ (cation 1 méthyl-4-phénylpyridinium) et la roténone inhibent le complexe I de la chaîne respiratoire mitochondriale ; le dieldrine et le manèbe inhibent le complexe III et le paraquat inhibe ces deux complexes. Ces inhibitions conduisent à la formation de dérivés réactifs de l'oxygène par défaut de super oxyde dismutase (Liu, Fiskum *et al.* 2002 ; Drechsel et Patel 2008).



PQ : paraquat, SOD2 : Super oxyde dismutase de type2

Figure 6 : Complexes enzymatiques mitochondriales ciblés par les produits phytopharmaceutiques (D'après Drechsel *et al.* 2008)

Ces dérivés réactifs de l'oxygène générés par certains produits phytopharmaceutiques s'attaquent aux membranes phospholipidiques des neurones entraînant leur dégénérescence (Emerit, Edeas *et al.* 2004). En l'état actuel des connaissances, le rôle précis des DRO et du stress oxydatif, issu de l'exposition aux produits phytopharmaceutiques sur l'organisme, demeure imparfaitement connu mais apparaît être le socle toxicologique commun des cancers et maladies neurodégénératives.

Pesticide et ADN

L'exposition aux produits phytopharmaceutiques des agriculteurs peut entraîner une altération de l'ADN (Bull, Fletcher *et al.* 2006 ; Calviello, Piccioni *et al.* 2006 ; Muniz, McCauley *et al.* 2008 ; Kisby, Muniz *et al.* 2009 ; Collotta, Bertazzi *et al.* 2013). Le stress oxydatif serait, là encore, responsable de cette altération (Bagchi, Bagchi *et al.* 1995 ; Migliore et Coppedè 2009). L'altération de l'ADN est l'un des premiers facteurs de cancérisation des cellules et de dégénérescence des neurones (Goldman, Kamel *et al.* 2012). Dans le cas de l'agriculture, l'altération de l'ADN chez les utilisateurs de produits phytopharmaceutiques est fréquemment étudiée car il s'agit d'un marqueur d'exposition utilisé pour le biomonitoring (Angerer, Ewers *et al.* 2007). Plusieurs études de terrain ont montré une altération de l'ADN chez les agriculteurs utilisateurs de produits phytopharmaceutiques, (Quest, Fenner-Crisp *et al.* 1993 ; Bagchi, Bagchi *et al.* 1995 ; Lebailly, Vigreux *et al.* 1998 ; Debbarh, Rambelomanana *et al.* 2002 ; Calviello, Piccioni *et al.* 2006 ; Kisby, Muniz *et al.* 2009). Néanmoins ces études se bornent à une approche par biomonitoring et les conséquences de ces altérations génétiques chez les agriculteurs demeurent inconnues. Détailler le rôle toxicologique de la dégradation de l'ADN par les produits phytopharmaceutiques et ses conséquences sur la santé humaine demeure encore difficile. De nombreux mécanismes de correction de l'ADN existent et la variabilité interindividuelle de l'efficacité de ces mécanismes de correction rendent difficile l'interprétation de cette dégradation de l'ADN liée aux produits phytopharmaceutiques chez les agriculteurs (Kalberlah, Schneider *et al.* 2003).

Maladies neurologiques

Les produits phytopharmaceutiques sont suspectés depuis des années d'être une des causes de l'apparition des maladies neurologiques (Di Monte, Lavasani *et al.* 2002 ; Freire et Koifman 2012 ; Kiebertz et Wunderle 2013). Un lien significatif avec le développement d'un syndrome parkinsonien et l'exposition à des substances chimiques (dont les produits phytopharmaceutiques) vient d'être pour la première fois publié (Tanner, Ross *et al.* 2009). D'un point de vue épidémiologique, Elbaz *et al.* ont démontré en 2009 que le risque d'être atteint de la maladie de Parkinson est multiplié par deux lorsque l'opérateur est exposé aux produits phytopharmaceutiques (aux organochlorés) et, en particulier, si l'exposition est ancienne et à fortes doses (Elbaz, Clavel *et al.* 2009). La méta-analyse de Van Maele-Fabry *et al.* de 2012 sur les études et cohortes portées sur la maladie de Parkinson chez les utilisateurs de produits phytopharmaceutiques professionnels conclut que l'exposition aux produits

phytopharmaceutiques est un facteur de risque concernant la maladie de Parkinson (Van Maele-Fabry, Hoet *et al.* 2012). Les manifestations neurologiques sont souvent liées à l'utilisation d'insecticides (Costa, Giordano *et al.* 2008) comme la roténone (Lupescu, Jilani *et al.* 2012) ou les produits phytopharmaceutiques de la famille des organochlorés. Sur 38 études cas-témoins, 30 concluent sur une association positive entre exposition aux produits phytopharmaceutiques et maladie de Parkinson contre 4 études cas-témoins ne montrant pas de lien significatif (Freire et Koifman 2012). Les auteurs actuels de méta-analyses estiment que le lien ne peut actuellement pas être définitivement fait entre l'exposition aux produits phytopharmaceutiques et les maladies neurodégénératives. Les futures études devraient se concentrer sur la génération de données toxicologiques et les études épidémiologiques devraient inclure un plus grand nombre de participants pour augmenter la pertinence des résultats (Freire et Koifman 2012 ; Van Maele-Fabry, Hoet *et al.* 2012).

Sur le mécanisme d'action, le stress oxydatif lié aux produits phytopharmaceutiques serait, là encore, la cause dans l'apparition des maladies neurodégénératives (Lupescu, Jilani *et al.* 2012). Ce stress semble être induit par divers agents dont les produits phytopharmaceutiques (Banerjee, Seth *et al.* 2001 ; Emerit, Edeas *et al.* 2004). Des marqueurs biologiques d'un stress oxydatif ont été retrouvés chez des patients atteints de maladies neurodégénératives, telles que la maladie d'Alzheimer, la maladie de Parkinson, la maladie de Huntington et la sclérose latérale amyotrophique (Migliore et Coppédè 2009). Cependant, les formes familiales et le caractère génétique de ces maladies existent également (Nussbaum et Ellis 2003). Plusieurs études portent sur le rôle des produits phytopharmaceutiques dans la maladie de Parkinson. Des marqueurs de stress oxydatifs ont été mis en évidence lors d'autopsies de zones cérébrales atteintes chez des patients touchés de maladie de Parkinson. Un rôle des produits phytopharmaceutiques dans la genèse de cette maladie est soupçonné (Emerit, Edeas *et al.* 2004 ; Valko, Leibfritz *et al.* 2007) mais quelques réserves s'imposent: le cerveau est le théâtre de nombreuses réactions biochimiques nécessitant de l'oxygène (auto-oxydation de la dopamine pour la génération de métabolites tels que le glutathion), favorisant ainsi la production endogène de dérivés réactifs de l'oxygène (Liu, Fiskum *et al.* 2002 ; Drechsel et Patel 2008).

Le rôle des produits phytopharmaceutiques sur la maladie d'Alzheimer - pourtant la maladie neurodégénérative la plus répandue - demeure peu étudié. Tout comme la maladie de

Parkinson, des biomarqueurs de stress oxydatif ont été retrouvés chez les patients atteints de la maladie d'Alzheimer au niveau des zones cérébrales atteintes (Migliore et Coppedè 2009).

D'un point de vue administratif, le Décret n° 2012-665 du 4 mai 2012 révisant et complétant les tableaux des maladies professionnelles en agriculture permet la reconnaissance de la maladie de Parkinson en maladie professionnelle chez les agriculteurs.

Plus récemment, l'étude Phytoneer, menée chez près de 1000 viticulteurs de la région de Bordeaux, a montré que l'exposition de viticulteurs aux pesticides sur le court terme réduit leurs performances cognitives et sur le long terme cela pourrait aboutir à des démences, comme cela a déjà été montré dans d'autres études.

Ces résultats restent cependant sujets à caution car de nombreux autres facteurs sont suspectés de jouer un rôle significatif dans l'apparition de maladie de Parkinson comme des facteurs génétiques, les consommations d'alcool et de tabac, la consommation de certains médicaments, l'alimentation, le stress, la fatigue ... (Noyce, Bestwick *et al.* 2012).

Perturbations endocriniennes

Les perturbateurs endocriniens sont des substances agonistes ou antagonistes, compétitives ou non des récepteurs aux hormones de l'organisme. Contrairement aux médicaments hormonaux (hormones de croissances, hormones utilisées en contraception...) les conséquences des liaisons de ces substances aux récepteurs sont délétères pour l'organisme car elles remettent en cause l'équilibre endocrinien de l'organisme.

De nombreuses substances chimiques sont actuellement considérées comme perturbatrices endocriniennes. L'Union Européenne considère une liste de 564 substances préoccupantes pouvant être des perturbateurs endocriniens⁸. Sur ces 564 produits, 188 sont des produits phytopharmaceutiques, certains demeurent encore autorisés à la vente comme la manèbe, le mancozèbe, ou encore le glyphosate⁹. Les perturbateurs endocriniens sont une préoccupation

⁸ Commission Européenne, document N° M0355008/1786Q/10/11/00, 2000. Consulté en Juillet 2014.

⁹ ANNEXE 1 du document M355008/1786Q/10/11/00 ; consulté en Juillet 2014 depuis <http://www.legifrance.gouv.fr/affichTexte.do?cidTexte=JORFTEXT000000339052>

sanitaire relativement récente. Parmi les effets suspectés, des troubles du développement de l'embryon ou lors de la puberté, deux étapes de la vie où les hormones jouent un rôle prépondérant, mais aussi des troubles de la fertilité (Cooper et Kavlock 1997 ; Amaral Mendes 2002 ; Anway, Cupp *et al.* 2005). Mais les perturbations endocriniennes sont aussi suspectées d'être à l'origine de cancers hormonaux-dépendants tels que le cancer du sein ou de la prostate (Diamanti-Kandarakis, Bourguignon *et al.* 2009). Des récepteurs endocriniens sur les cellules de ces organes, activés par les perturbateurs endocriniens peuvent être le point de départ de cancers. En effet, certains perturbateurs endocriniens ont des effets proches des œstrogènes (appelés xenoestrogènes). Le cancer de la prostate par exemple est un cancer dont l'incidence est augmentée chez les agriculteurs (Baldi et Lebailly 2007) et certains produits phytopharmaceutiques comme le chlordécone sont responsables de ce cancer, bien que le mécanisme d'action reste encore méconnu (Multigner, Ndong *et al.* 2010).

Le Tableau 6, traduit du rapport final du groupe Kortenkamp (Commission Européenne, 2012), présente la liste des produits chimiques préoccupants en tant que perturbateurs endocriniens et, pour chacun d'entre eux, les effets démontrés sur la santé humaine et/ou sur la faune. Néanmoins les substances retenues pour ce travail ne sont plus toutes autorisées sur le marché. De nombreuses substances ont été substituées par d'autres non reconnues comme perturbatrices endocriniennes.

Tableau 6 : Produits chimiques préoccupants sur la santé humaine et sur la faune ayant une activité de perturbation endocrinienne.

PRODUITS CHIMIQUES PRÉOCCUPANTS	EXAMINÉS AU REGARD DES EFFETS...														
	...sur la santé humaine												...sur la faune		
	Santé reproductive mâle	Puberté féminine précoce	Fécondité féminine	Syndrome des ovaires polykystiques	Fertilité féminine	Endométriose	Fibroïdes utérins	Cancer du sein	Cancer de la prostate	Cancer des testicules	Cancer de la thyroïde	Neurotoxicité développementale	Syndrome métabolique	Invertébrés	Poissons
Biphényle polychlorés (PCB), Polychlorobenzodioxines (PCDD) et Polychlorodibenzofuranes (PCDF)	•	•	•		•	•	•	•	•	•	•	•	•		•
Polybromodiphényléthers (PBDE)	•	•					•			•		•	•		•
Composés perfluorés (PFC)			•									•	•		•
Dichlorodiphényltrichloroéthane (DDT) et Dichlorodiphényldichloroéthylène (DDE)	•	•	•		•	•	•	•	•	•		•	•	•	•
Autres pesticides organochlorés	•		•		•	•		•		•	•	•	•	•	•
Pesticides organophosphorés					•				•			•		•	•
Pesticides carbamates					•				•		•			•	•
Pesticides azolés	•										•				
Pesticides pyréthrinoides									•						
Herbicides triazines														•	•
Autres pesticides	•		•		•				•		•	•		•	•
Métaux lourds	•	•	•		•			•	•			•			•
Alkylphénols, Bisphenol A (BPA), parabènes		•		•	•	•		•			•	•	•	•	•
Phtalates	•	•			•	•	•			•		•	•	•	•
Œstrogènes pharmaceutiques	•				•	•	•	•	•	•	•	•	•	•	•
Phyto-œstrogènes		•	•			•	•	•	•		•	•			•
Organoétains												•	•	•	

D'après ce groupe de travail, les effets de perturbations endocriniennes en lien avec les produits phytopharmaceutiques sont nombreux. D'autres substances, comme les herbicides, les métaux lourds, le bisphénol A (BPA), les parabènes, les phtalates ou les œstrogènes, sont également incriminées.

Plusieurs études suggèrent le rôle de certains produits phytopharmaceutiques dans des perturbations endocriniennes (Rudel, Camann *et al.* 2003 ; Cecconi, Paro *et al.* 2007 ; Purdue, Hoppin *et al.* 2007 ; Taxvig, Hass *et al.* 2007 ; Taxvig, Vinggaard *et al.* 2008), mais il est impossible de conclure clairement sur les conséquences endocriniennes de l'exposition aux produits phytopharmaceutiques chez l'homme. Des études ont montré que la qualité du sperme chez l'homme est affectée par certains produits phytopharmaceutiques et notamment par les produits chlorés (Kumar, Pant *et al.* 2000 ; Goetz, Ren *et al.* 2007 ; Pant, Kumar *et al.* 2007). En l'état actuel des connaissances il est impossible de conclure clairement sur l'effet des produits phytopharmaceutiques sur la reproduction (Gatignol et Etienne 2010).

Autres dangers liés aux produits phytopharmaceutiques

Les solvants utilisés pour la formulation des produits phytopharmaceutiques peuvent aussi présenter une toxicité pour l'Homme. Le glyphosate est un herbicide très utilisé dans le monde agricole et certaines études tendent à montrer un rôle toxicologique des solvants plus important que la substance active en elle-même (Benachour et Séralini 2009). Le glyphosate a récemment été la cible d'un état de l'art des études épidémiologique sur les cancers et ce produit n'a pas montré d'action particulière sur cette pathologie (Mink, Mandel *et al.* 2012).

Lors de la synthèse des produits phytopharmaceutiques, certains résidus sont parfois responsables de la toxicité des préparations. Par exemple, le pentachlorophénol a été interdit à la vente dans des préparations de plus de 0,1 % en masse au 31 décembre 2008¹⁰, de par la présence d'impuretés toxiques (dioxines) dans sa formulation. Ces dioxines seraient liées à son processus de fabrication.

¹⁰ La seule exception demeurant la vente de PCP à des fins de recherche, de développement et d'analyse conformément à l'article R521-29 du Code de l'Environnement.

L'exposition de l'organisme aux substances chimiques en mélanges et l'effet de ces mélanges est une problématique soulevée aussi dans le cas des produits phytopharmaceutiques. Cependant, il est difficile de mettre en évidence une relation entre mélanges de produits phytopharmaceutiques et impact sur la santé des opérateurs : la variabilité de la composition des mélanges au cours de la vie professionnelle et de l'année et les interactions multiples selon les mélanges (INSERM 2013). À l'image des interactions médicamenteuses, l'exposition multiple aux produits phytopharmaceutiques est suspectée d'être responsable de potentialisation toxicologique (Reffstrup, Larsen *et al.* ; Carpy, Kobel *et al.* 2000 ; Mumtaz, Ruiz *et al.* 2007). Néanmoins, l'évaluation des effets toxicologiques de substances en mélanges demeure délicate devant le nombre d'incertitudes et le manque de données toxicologiques. Trois formes de toxicologie des mélanges de produits phytopharmaceutiques apparaissent : indépendant, interaction et addition des doses (Hernández, Parrón *et al.* 2012b). Devant toutes les possibilités de combinaisons entre les produits phytopharmaceutiques, l'importance des mélanges de produits phytopharmaceutiques sur la toxicité est difficile à évaluer actuellement (INSERM 2013).

Les produits phytopharmaceutiques sont aussi impliqués dans l'industrie des Organismes Génétiquement Modifiés (OGM). Les plantes agricoles modifiées par génie génétique le sont essentiellement afin de devenir plus résistantes aux produits phytopharmaceutiques et en particulier au glyphosate. Les principales plantes génétiquement modifiées pour tolérer un herbicide sont : le maïs-grain, le soja, le coton, le canola, la betterave sucrière, le lin, la luzerne et le riz. L'utilisation plus importante de produits phytopharmaceutiques sur ces OGM s'accompagne aussi d'une exposition augmentée pour les agriculteurs. Bien qu'actuellement interdits en France (pour la culture, mais l'importation est autorisée), la toxicité des OGM (et ou des produits phytopharmaceutiques associés) est soumise à débats puisque certaines études tendent à montrer une innocuité de ces produits (Snell, Bernheim *et al.* 2012) quand d'autres tendent à montrer un danger lié à ces organismes chez des mammifères.

2.4 Cas particulier des cancers

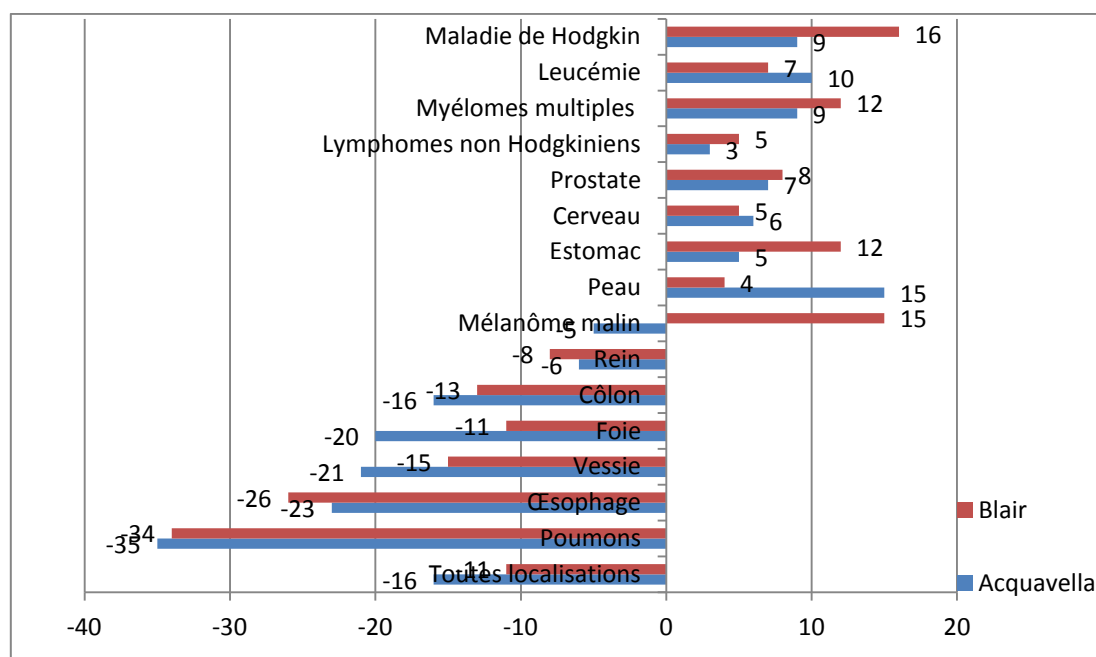
2.4.1 Cancers et produits phytopharmaceutiques dans la population agricole

Bien que le rôle des produits phytopharmaceutiques dans l'apparition de cancers au sein de la population agricole soit étudié depuis de nombreuses années, à ce jour les conséquences sanitaires des produits phytopharmaceutiques demeurent incertaines sur cette pathologie (INC 2009 ; Gatignol et Etienne 2010 ; INSERM 2013). Cette partie propose un bilan de l'état des connaissances sur le rôle des produits phytopharmaceutiques au sein de la population agricole, en utilisant les résultats des méta-analyses, des études épidémiologiques et des cohortes en milieu agricole.

2.4.1.1 Les méta-analyses

Les méta-analyses de Blair et d'Acquavella, respectivement en 1991 et 1998 (Blair et Zahm 1991 ; Acquavella, Olsen *et al.* 1998) ont proposé de déterminer le rôle des produits phytopharmaceutiques dans l'apparition de certains cancers. Ces méta-analyses sont citées en référence dans diverses études et rapports officiels (INC 2009 ; Gatignol et Etienne 2010 ; INSERM 2013) et sont fréquemment citées dans les travaux et rapports sur le lien entre produits phytopharmaceutiques et cancers.

Le Figure 7 reprend les résultats de ces deux études.



Résultats exprimés en %. Une barre représente la diminution ou l'élévation du risque par rapport au reste de la population.

Figure 7 : Synthèse des méta-analyses réalisées sur le risque de cancers en milieu agricole

Ces études montrent que les agriculteurs développent moins de cancers, toutes localisations confondues, que la population générale. Cependant certains cancers spécifiques sont apparus comme plus développés chez les agriculteurs. Ces résultats sont confortés par plusieurs études faisant suite à ces méta-analyses et étayant le rôle des produits phytopharmaceutiques dans l'apparition de lymphomes non hodgkiniens (McDuffie, Pahwa *et al.* 2001 ; Zheng, Blair *et al.* 2002 ; Bassil, Vakil *et al.* 2007) et des lymphomes hodgkiniens (Blair et Freeman 2009). Les cancers du poumon et du colons ont aussi moins fréquents dans la population agricole que dans la population générale. À l'inverse les « cancers du sang » tels que les leucémies et les lymphomes, sont plus fréquemment retrouvés chez les agriculteurs.

2.4.1.2 Approche épidémiologique

En France, l'étude Cosmop propose des indicateurs de mortalité par causes et pour différents types d'activités professionnelles. Cette étude, réalisée par l'Institut National de Veille Sanitaire (INVS), se base sur les recensements de l'INSEE de 1968, 1975, 1982 et 1990. Les données sont relativement anciennes mais recouvrent une population importante avec l'analyse sociodémographique et professionnelle de près de 660 000 individus. La recherche

du statut vital de ces sujets a été effectuée par l’Insee auprès du Répertoire national d’identification des personnes physiques et a permis de retrouver 35 968 causes de décès masculins et 13 797 causes de décès féminins survenus entre 1968 et 1999.

L’impact des cancers chez les agriculteurs ainsi que d’autres causes de mortalité sont présentés Tableau 7:

Tableau 7 : Effectif et risque relatif des cancers et autres pathologies observés dans l’étude COSMOP 2010 chez les agriculteurs.

<i>Hommes</i>			<i>Femmes</i>		
	<i>n =</i>	<i>RR</i>		<i>n =</i>	<i>RR</i>
<i>Observés</i>	8 395		Observées	3174	
<i>mortalité globale</i>	8 395	0,95	mortalité globale	3174	1,07
<i>cancer toutes localisations</i>	2253	0,77	cancer toutes localisations	737	0,88
<i>cancer du buccopharynx</i>	100	0,63	cancer de l’appareil respiratoire	38	0,62
<i>cancer digestif</i>	800	0,85	cancer broncho-pulmonaire	29	0,57
<i>cancer colorectal</i>	243	0,84	cancer du sein	133	0,75
<i>cancer du foie et des voies biliaires</i>	92	0,63	pathologie non cancéreuse	2033	1,15
<i>cancer de l’appareil respiratoire</i>	505	0,6	maladie endocrinienne	107	1,29
<i>cancer du larynx</i>	82	0,66	diabète sucré	62	1,38
<i>cancer broncho-pulmonaire</i>	376	0,58	maladie cardiovasculaire	1254	1,2
<i>cancer de la vessie</i>	81	0,78	autre maladie cardiaque et / ou hypertensive	429	1,19
<i>cardiopathie ischémique</i>	863	0,88	maladie vasculaire cérébrale	436	1,27
<i>autre maladie cardiaque et / ou hypertensive</i>	937	1,18	maladie de l’appareil respiratoire	168	1,21
<i>maladie vasculaire cérébrale</i>	861	1,15	maladie chronique du foie	38	0,68
<i>bronchopathie chronique obstructive</i>	243	1,22	mort violente	227	1,25
<i>maladie chronique du foie</i>	229	0,79	suicide	70	1,87
<i>mort violente</i>	790	1,29			
<i>suicide</i>	261	1,46			

RR: risque relatif

Que cela soit pour les hommes ou pour les femmes, le taux de cancer en milieu agricole, toutes localisations confondues, apparaît comme moindre comparativement à la population générale. Ces résultats corroborent ceux des méta-analyses d’Acquavella et Blair sur les cancers. A l’inverse du cancer, le Tableau 7 montre que la mortalité par maladies cardio-vasculaires et maladies ischémiques est plus importante chez les agriculteurs.

Pour certains types de cancers, d’autres facteurs que les produits phytopharmaceutiques peuvent etres incriminés. Le cancer de la peau, fortement lié à l’exposition professionnelle aux UV (Diepgen et Blome 2008) , est plus fréquent chez les agriculteurs car ils s’exposent au

soleil de façon plus importante que la population générale. A l'inverse, le cancer du poumon est moins fréquent chez les agriculteurs car cette population fume moins que le reste de la population (Gatignol et Etienne 2010 ; MSA 2011) et le rôle des produits phytopharmaceutiques sur ce cancer semble faible (Alavanja, Dosemeci *et al.* 2004).

2.4.1.3 Les cohortes agricoles

Pour affiner les résultats généraux présentés dans les méta-analyses, des cohortes spécialisées dans le monde agricole se sont mises en place, elles ont débuté au milieu des années 1990. A ce jour 14 cohortes de population agricole existent (Gatignol et Etienne 2010) et dont les taille et années de mise en place sont regroupées dans Tableau 8.

Tableau 8 : Consortium international de cohortes agricoles : Washington 25-26/09/2006.

<i>Nom de l'étude</i>	Pays	Années de mise en place	Taille de l'étude
AGRICAN	France	2005	180 000
<i>Asthma/Atopy in Farmers's children</i>	Nouvelle-Zélande	2001	7 517
<i>Env. Exposures & Asthma in Babies Born on Farms</i>	Nouvelle-Zélande	2006	800
<i>Cancers in Norwegian Ag Population</i>	Norvège	1969	560 000
<i>Norway Farmer Cohort</i>	Norvège	1990	8 842
<i>Grain Dust Medical Surv. Program</i>	Canada	1978	20 831
<i>New Grain Workers' Study</i>	Canada	1980	335
<i>Keokuk Country Rural Health</i>	USA, Iowa	1994	2 799
<i>Korean Multi-Center Cancer Cohort</i>	Korea	1993	19 688
<i>MESEA Farm Cohort</i>	USA, Wisconsin	1991	5 487
<i>UC Davis Farmer Health Study</i>	USA, Californie	1993	1 947
<i>US Agricultural Health Study</i>	USA, Iowa et Caroline du Nord	1993	89 000
<i>Agricultural Health: African-American Subcohort</i>	USA, Caroline du Nord	1995	1 186
<i>Agricultural Health : Next Generation</i>	USA, Iowa	1993	37 767

Sur ces 14 cohortes certaines sont spécialisées dans le cancer comme les cohortes Coréenne et Française et d'autres encore étendent leur résultats à l'entourage proche de l'agriculteur comme l'Agricultural Health Study (AHS). La plus grande et la plus ancienne cohorte est la cohorte norvégienne débutée en 1969.

La cohorte AgriCan est l'une des plus récentes et la seconde plus importante en effectif. Mise en place à partir de 2005, elle est spécialisée sur l'apparition de cancers chez les agriculteurs de douze départements. Outre la spécificité française d'AgriCan, cette étude se distingue par sa focalisation sur les cancers chez les agriculteurs, alors que les autres études (notamment l'AHS) portent sur diverses pathologies de l'agriculteur et de son entourage (Alavanja, Sandler *et al.* 1996). Cette étude met en lumière des résultats contradictoires avec les méta-analyses concernant l'apparition des cancers. Comme pour les précédentes méta-analyses, la mortalité par cancer chez les agriculteurs s'avère moindre que pour la population générale mais cette étude n'a isolé aucun excès significatif de cancer en particulier (MSA 2011).

Le Tableau 9 compare les décès par cancer chez les hommes et les femmes comparativement à la population générale.

Tableau 9 : Différence d'apparition de cancers entre la cohorte AgriCan et la population générale selon le sexe et la localisation

<i>Types de cancer</i>	Hommes	Femmes
<i>Tous cancers</i>	-27*	-19*
<i>Lèvres, cavité buccale, pharynx</i>	-47*	-37
<i>Œsophage</i>	-28*	+8
<i>Estomac</i>	-2	+5
<i>Colon</i>	-20*	-3
<i>Rectum et anus</i>	-16	-33
<i>Foie, voies biliaires intrahépatiques</i>	-20*	-29
<i>Pancréas</i>	-13	-4
<i>Larynx, trachée, bronches, poumons</i>	-50*	-40*
<i>Mélanome malin de la peau</i>	+1	+6
<i>Sein</i>	+123	-25*
<i>Col de l'utérus</i>	-	-28
<i>Autres parties de l'utérus</i>	-	-31
<i>Ovaires</i>	-	-11
<i>Prostate</i>	-15*	
<i>Rein</i>	-14	-25
<i>Vessie</i>	-42*	+40
<i>Cancer « du sang »</i>	-11	+2

*Différence significative entre Agrican et la population générale

En l'état actuel de l'analyse des données, l'étude Agrican n'indique pas de cancer en excès pour la population agricole. Les cas où les cancers apparaissent comme plus élevés que pour la population générale ne sont statistiquement pas significatifs. Ce résultat propre à la France abonde en partie avec les études précédemment présentées sur l'apparition moindre de cancers

dans la population agricole. En revanche, pour les cancers du sang l'étude Agrican ne révèle pas d'excès. Ces résultats sont cependant toujours en cours d'étude (MSA 2011).

2.4.2 Cancers dans la population agricole face à la population générale

Ce chapitre sur le cancer et ses causes en France au sein de la population générale a pour objectif de pouvoir mettre en perspective le rôle des produits phytopharmaceutiques dans l'apparition des cancers comparativement à d'autres facteurs de risque. Elle vise aussi à comparer le taux de cancer chez les agriculteurs comparativement à la population générale et d'observer, ou non, une corrélation avec les données concernant la population agricole. Les études de 1981 de Doll et Peto ont souvent été citées en référence pour évaluer les causes environnementales de cancers dans la population générale et les facteurs de risque soulevés dans ces études sont présentés dans le Tableau 10. Ce tableau indique le nombre de cancers et la contribution des facteurs environnementaux sur ces cancers. Le tabagisme est le facteur de risque le plus fréquemment observés dans les études comme étant le plus important. Concernant les produits phytopharmaceutiques, ceux-ci ne sont pas directement présentés dans ces études mais peuvent s'inscrire dans les facteurs « pollution » et « produits industriels ». Ces facteurs apparaissent comme faibles dans l'apparition des cancers, tout comme le rôle de la profession.

Tableau 10 : Facteurs de risque de cancer selon différentes études

<i>ETUDE</i>	Doll Petro 1981 USA		Oslen et al, 1997 Pays Nordiques		Doll et Petro 2005 UK		Danaei et al, 2005	Rapports ANM France		
<i>FACTEURS</i>	% de morts par cancers	fourchette d'estimation	% de cancers hommes	% de cancers femmes	% morts par cancers	Limites d'estimation	% de morts par cancers	% de morts par cancers hommes	morts par cancers	% de morts par cancer
<i>Tabac</i>	30	25 – 40	19	9	30	27 à 33	29	33,4	9,6	23,9
<i>Alcool</i>	3	2 à 4	2	1	6	4 à 8	4	9,4	3	6,9
<i>Agents infectieux</i>	10 ?	1 à ?	2 (g)	3 (g)	5	4 à 15	<1,5 (h)	3,3	4,4	3,7
<i>Nutrition</i>	35	10 à 70	? (d)	? (d)	25	15 à 35	3	NI	NI	NI
<i>Obésité et surpoids</i>			<1	1		15 à 35	3	1,2	2,3	1,6
<i>Sédentarisme</i>			NI	NI	<1	0 à 1	2	0,5	3,2	1,6
<i>Profession</i>	4	2 à 8	3	<1	2	1 à 5	NI	3,7	0,5	2,4
<i>Pollution</i>	2	< 1 à 5	<1 (e.)	<1 (e.)	2	2 à 5	NI	0,04 à 1	0,3	0,1 à 1
<i>Pollution urbaine</i>			NI	NI			1	NI	NI	NI
<i>Produits industriels</i>	<1 (b)	< 1 à 5	NI	NI	NI	NI	NI	NI	NI	NI
<i>Additifs alimentaires</i>	<1	0,5 à 2	NI	NI	NI	NI	NI	NI	NI	NI
<i>Médicaments et procédures médicales</i>	1 (a)	0,5 à 3	NI	NI	<1	0 à 1	NI	NI	NI	NI
<i>Hormonothérapie substitutive et contraceptifs oraux</i>		0,5 à 3	NI	NI		0 à 1	NI	NI	2,2	0,9
<i>Facteurs liés à la reproduction</i>	7 (s)	1 à 13	NI	NI	15	10 à 20	NI	NI	1,1	0,4
<i>Rayonnements ionisants non médicaux</i>	3 (c)	2 à 4	<1 (f)	<1 (f)	4	3 à 5	NI	NI	NI	NI
<i>Rayons ultraviolets</i>		2 à 4	4	5	1	1	NI	0,6	0,6	0,6
<i>Rayonnements ionisants d'origine humaine</i>	NI (r)	NI	2	3	<1	<1 à 1	NI	NI	NI	NI

NI : facteur non considéré comme facteur de risque de cancer par l'étude - * Figures, limites et « ? » dans le tableau sont rapportés comme dans la publication d'origine (a) Inclus les irradiations médicales, les agents chimiothérapiques, les contraceptifs oraux, l'hormonothérapie de substitution – (b) Inclut les agents chimiques et physiques introduits dans la vie quotidienne par l'industrie contemporaine. (c) Appelés facteurs géophysiques par Doll et Peto 1981 et incluant les rayonnements non médicaux et les ultraviolets. (d) Les auteurs ont considéré que les données sont insuffisantes pour calculer la fraction attribuable – France Limité au tabagisme passif – (f) Limité au radon – (g) Limité aux infections par *helicobacter pylori*. – (h) Limité aux relations sexuelles sans précaution (1 %) et seringues contaminées dans le cadre des soins (<0.5 %) – (i) Peu de fruits et légumes – France Inclus dans la catégorie « médicaments et procédures médicales » - (s) Inclut les comportements sexuels tels que les agents infectieux impliqués dans le cancer du col utérin.

Concernant les types de cancers dans la population générale le Tableau 11 reprend les taux, selon l'institut National du Cancer de 2011 et permet ainsi une mise en perspective des résultats observés chez les agriculteurs :

Tableau 11 : Nombre de cancer par localisation en France et contribution à l'ensemble des cancers.

	Incidence			Mortalité		
	Effectif	Contribution à l'ensemble des cancers	Rang	Effectif	Contribution à l'ensemble des cancers	Rang
<i>Prostate</i>	71 000	19,4	1	8 700	5,9	4
<i>Sein</i>	53 000	14,6	2	11 500	7,8	3
<i>Côlon-rectum</i>	40 500	11,1	3	17 500	11,9	2
<i>Poumon</i>	39 500	10,8	4	29 100	19,7	1
<i>Lèvre, cavité orale, pharynx</i>	10 700	2,9	8	3 270	2,2	11
<i>Lymphome malin non hodgkinien</i>	11 700	3,2	5	3 670	2,5	8
<i>Vessie</i>	10 980	3	7	4 670	3,2	5
<i>Rein</i>	11 080	3	6	3 840	2,6	7
<i>Pancréas</i>	9 040	2,5	10	nd	-	-
<i>Thyroïde</i>	6 600	1,8	13	370	0,3	20
<i>Mélanome de la peau</i>	9 780	2,7	9	1 620	1,1	16
<i>Foie</i>	8 230	2,3	11	nd	-	-
<i>Corps de l'utérus</i>	6 800	1,9	12	2 080	1,4	15
<i>Estomac</i>	6 440	1,8	14	4 430	3	6
<i>Myélome multiple et maladie immun proliférative</i>	5 930	1,6	15	3 050	2,1	14
<i>Système nerveux central</i>	4 770	1,3	16	3 390	2,3	10
<i>Ovaire</i>	4 620	1,3	17	3 150	2,1	13
<i>Œsophage</i>	4 280	1,2	18	3 440	2,3	9
<i>Leucémie aiguë</i>	3 780	1	20	3 220	2,2	12
<i>Leucémie lymphoïde chronique</i>	3 790	1	19	1 060	0,7	17
<i>Larynx</i>	3 230	0,9	21	960	0,7	19
<i>Col de l'utérus</i>	2 810	0,8	22	1 000	0,7	18
<i>Testicule</i>	2 320	0,6	23	90	0,1	22
<i>Maladie de Hodgkin</i>	1 840	0,5	24	290	0,2	21
<i>Tous cancers</i>	365 500	100	-	147 500	100	-

La prostate, le sein et les poumons et le colon et sont les types de cancer les plus répandus, ceux-ci sont responsables de près de la moitié des cancers en France.

Comparativement, les études portant sur le cancer en milieu agricole montrent que les agriculteurs développent globalement moins de cancers que la population générale. Ces mêmes études indiquent aussi que les agriculteurs sont susceptibles de développer certains

types de cancers, comme le cancer de la prostate, des leucémies (Karunanayake, Spinelli *et al.* 2012) et des cancers du cerveau par exemple (Baldi et Lebailly 2007 ; Gatignol et Etienne 2010).

Cancer chez les agriculteurs face à la population générale

La méta-analyse de Blair *et al.* de 2009 ont montré que les agriculteurs avaient un taux de mortalité prématuré, toutes causes confondues, significativement inférieur à la population générale (Blair et Freeman 2009) , corroborant sa précédente méta-analyse de 1991 et les études COSMOP¹¹ précédemment présentées. Concernant les cancers, certains demeurent à un taux plus élevé que pour la population générale. Il s'agit des lymphomes hodgkinien et non hodgkinien, le cancer des tissus conjonctifs, le lymphome, le myélome multiple et les cancers de la peau, de l'estomac et du cerveau. Dans les méta analyses, apparaît aussi la notion de « travailleur sain », c'est-à-dire qu'est émise l'hypothèse que les agriculteurs ont une hygiène de vie saine de par leur activité physique régulière et leur alimentation variée (Blair et Zahm 1991 ; INVS 2006 ; Waggoner, Kullman *et al.* 2011). À l'heure actuelle, entre les résultats des méta-analyses et les premiers résultats des cohortes, il est impossible d'accuser clairement un produit phytopharmaceutique en particulier dans l'apparition de cancers. Quelques exceptions cependant, comme la chlordecone qui aurait rôle dans l'apparition de cancers de la prostate chez les travailleurs ayant fabriqué ce produits phytopharmaceutiques (Multigner, Ndong *et al.* 2010).

L'évaluation du rôle des produits phytopharmaceutiques dans l'apparition des cancers demeure encore à approfondir tant d'un point de vue épidémiologique que toxicologique. Les études épidémiologiques actuelles ne peuvent pas détailler précisément le rôle de chaque polluant auxquels ont été exposés les agriculteurs durant leur vie professionnelle. Ceux-ci sont exposés à une multitude de polluants susceptibles d'avoir des conséquences sanitaires, constituant autant de biais d'interprétation des données épidémiologiques. Dans le cas des leucémies et cancers du sang, cancers retrouvé en excès chez les agriculteurs dans plusieurs méta-analyses et études épidémiologique à l'exception notable de la cohorte française AgriCan, la suspicion du rôle des produits phytopharmaceutiques demeure forte (Alavanja et Bonner 2012) , mais deux agents présents en milieu agricole ont déjà montré un rôle certain dans l'apparition de cette maladie, le benzène (solvant et carburant) et les radiations ionisantes (exposition

¹¹ COSMOP : Cohorte pour la surveillance de la mortalité par profession

importante des agriculteurs aux UV) (Descatha, Jenabian *et al.* 2005 ; Alavanja et Bonner 2012). Les résultats des études épidémiologiques apportent donc un éclairage sur le risque lié à l'ensemble des activités de la profession mais ne peuvent pas conclure précisément sur le rôle des produits phytopharmaceutiques (Blair et Freeman 2009). Les études futures doivent se focaliser sur l'exposition propre aux produits phytopharmaceutiques pour parvenir à discriminer les effets des produits phytopharmaceutiques de ceux d'autres sources de pollution. Caractériser le risque lié aux produits phytopharmaceutiques avec autant de sources d'exposition de façon épidémiologique demeure particulièrement délicat et les revues épidémiologiques récentes suggèrent que les études futures devraient s'orienter sur l'exposition propre aux produits phytopharmaceutiques (Blair et Freeman 2009 ; Alavanja et Bonner 2012).

D'un point de vue toxicologique, les principaux développements à mener portent sur la mesure de l'exposition spécifique aux produits phytosanitaires si que l'analyse des conséquences des mélanges de ces produits (Alavanja et Bonner 2012), ainsi que la génération de plus de données toxicologiques sur les produits phytopharmaceutiques.

2.4.3 Conclusion

L'attention de nombreuses études sanitaires est portée sur les produits phytopharmaceutiques, mais de nombreux autres agents sont responsables de cancers (ANM 2007) et sont fortement présents dans les exploitations agricoles, comme les UV, les solvants (Blair et Freeman 2009) ou les gaz d'échappements diesel des machines agricoles (récemment classées comme cancérogènes par l'OMS (WHO 2012). L'étude Sumer de 2013 indique que 13,7 % des salariés des exploitations agricoles sont exposés au moins une fois par jour à une substance cancérogène, c'est le troisième secteur d'activité où les salariés sont les plus exposés aux substances cancérogènes, après la construction et l'industrie (DARES 2013). Ces nombreuses sources d'exposition à divers agents potentiellement pathogènes constituent autant de biais et ne permettent pas de déterminer le rôle précis des produits phytopharmaceutiques sur la survenue de cancers, chez les agriculteurs.

L'état actuel des connaissances du rôle des produits phytopharmaceutiques sur cette pathologie est loin d'être complet (Bonnefoy 2012 ; INSERM 2013). De nombreuses incertitudes demeurent concernant le statut carcinogène de plusieurs substances actives

autorisées sur le marché, et l'essentiel d'entre elles n'est pas classé par des organismes tels que l'OMS. La présence de produits phytopharmaceutiques dans la catégorie potentiellement cancérigène de l'OMS ou de l'US EPA, ne doit cependant pas être considérée comme l'antichambre de la catégorie 1 (produit cancérigènes certains) par manque de données. La réévaluation des substances aboutit parfois à une reclassification en catégories non cancérigènes, tels que ce fut le cas pour le captane par exemple (Gordon 2007).

Sur le risque de cancers chez les agriculteurs, les données épidémiologiques actuelles tendent à indiquer que les agriculteurs ne présentent pas de taux de cancers accrus comparativement à la population générale, celui-ci apparaît même légèrement moindre chez les agriculteurs (Alavanja, Sandler *et al.* 2005 ; INC 2009 ; Weichenthal, Moase *et al.* 2010 ; Alavanja et Bonner 2012 ; Alavanja, Ross *et al.* 2013). Cependant, les données sont contradictoires sur certains types de cancer, notamment les cancers hématologiques comme pour la maladie de Hodgkin pour lequel le rôle des produits phytopharmaceutiques apparaît être faible (INSERM 2013) ou élevé (Blair et Zahm 1991 ; Acquavella, Olsen *et al.* 1998) selon les études considérées.

Concernant les autres effets sanitaires chroniques, l'état des connaissances est plus lacunaire encore que pour celles liées au cancer (Mostafalou et Abdollahi 2013). Les maladies neurodégénératives, et notamment la maladie de Parkinson, apparaissent être des conséquences probables de l'exposition multiples aux produits phytopharmaceutiques (Elbaz, Clavel *et al.* 2009 ; INSERM 2013 ; Kieburtz et Wunderle 2013). Cependant, de nombreux travaux restent à mener sur ces pathologies (Van Maele-Fabry, Hoet *et al.* 2012). Dans le cadre de l'évaluation des risques, il n'existe actuellement que très peu de valeurs toxicologiques de références (VTR) pour ces substances.

La suite de ce travail se focalise sur le risque de cancer chez les agriculteurs. En effet, l'objectif de ce travail n'est pas de générer de nouvelles VTR. Les résultats se basent sur l'existant. Néanmoins, les limites actuelles des VTR et du manque de données pour certaines substances sont rappelées dans les limites et incertitudes de ce travail.

Troisième Partie : Évaluation du risque lié aux produits phytopharmaceutiques

3.1 L'évaluation quantitative des risques sanitaires des produits phytopharmaceutiques

L'objectif de cette partie est d'évaluer la faisabilité et la pertinence d'une Évaluation Quantitative des Risques Sanitaires (EQRS) sur l'exposition aux produits phytopharmaceutiques des agriculteurs, en fonction des données actuelles. Les propositions développées dans cette partie devraient permettre de choisir les molécules à cibler en priorité et les populations cibles de l'étude. Cette présentation de l'EQRS doit permettre de comprendre la démarche développée dans la thèse puisque cette méthode sert de fil conducteur tout au long de ce travail et justifie les choix effectués. Cette partie sur l'EQRS doit aussi permettre de mettre en lumière les besoins en données pour mener à bien la démarche.

3.1.1 Démarche générale de l'EQRS

L'EQRS d'une substance chimique se décompose en quatre étapes : l'identification des dangers, la relation dose réponse, la mesure de l'exposition et la caractérisation des risques (Committee on the Institutional Means for Assessment of Risks to Public Health 1983 ; US-EPA 1992, 2005a). Les quatre étapes de l'EQRS sont présentées ici avec comme fil conducteur les produits phytopharmaceutiques et schématisées Figure 8.

1-Identification des dangers : Cette étape sert à déterminer sur quel danger mener l'évaluation de risques parmi l'ensemble des conséquences sanitaires possibles. Durant cette phase, le choix du critère de danger devra se faire en fonction des besoins de l'étude, des données disponibles et en particulier de la disponibilité de Valeurs Toxicologiques de Références (VTR), qui sont détaillées en étape 2.

2-Relation dose/réponse : La relation dose-réponse détermine les conséquences sanitaires encourues en fonction de la dose à laquelle l'individu est exposé. Concrètement, la relation dose/réponse se traduit par une Valeur Toxicologique de Référence (VTR). Cette VTR est construite en fonction des connaissances toxicologiques du produit étudié, pour un effet sanitaire donné. Pour une même substance, il peut exister une VTR pour les effets

cancérigènes, une autre pour les effets neurologiques, respiratoires, etc. La fiabilité et les incertitudes autour de la VTR dépendent des études ayant servi à sa construction (US-EPA 1993b, 2007).

La disponibilité et la fiabilité des VTR demeurent la principale limite des EQRS.

3- Mesure de l'exposition : La mesure de l'exposition doit permettre de déterminer quel est le niveau d'exposition des individus cible au produit étudié. Plusieurs façons permettent de déterminer l'exposition : des mesures environnementales, des études de biomonitoring ou des modélisations.

4- Caractérisation du risque : C'est la comparaison entre les VTR et les résultats des mesures d'exposition. Ceci détermine le niveau de risque et son acceptabilité. C'est la conclusion de l'EQRS. La caractérisation du risque indique un excès de risque observé ou non, comparativement à une population témoin non exposée.

Les 4 étapes sont présentées Figure 8 séparément par soucis de clarté. En pratique la réalisation de cette démarche n'est pas aussi fragmentée.

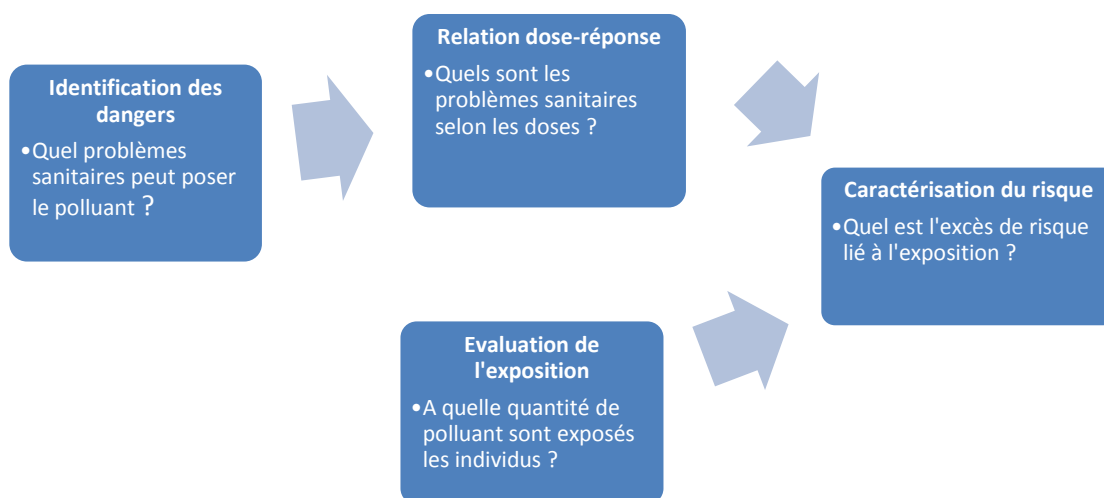


Figure 8 : Schématisation de l'évaluation quantitative des risques sanitaires¹²

¹²http://www.epa.gov/risk_assessment/hazardous-identification.htm. Consulté en Juillet 2014

Les études actuellement disponibles dans le monde agricole concernent une partie de la démarche de l'évaluation de risque, et sont regroupées Tableau 12

Tableau 12 : EQRS et produits phytopharmaceutiques : exemples d'études

EQRS				
<i>Étape de l'EQRS</i>	1/Identification des dangers	2/Relation dose réponse	3/Mesure de l'exposition	4/Caractérisation du risque
<i>Type d'étude</i>	Épidémiologie Médicales	Toxicologie	Mesures environnementales Biomonitoring Modélisation	EQRS
<i>Exemples en milieu agricole</i>	AHS (Alavanja, Sandler <i>et al.</i> 1996) AgriCan (2005)	AOEL Dossier d'AMM VTR pour les produits phytopharmaceutiques (US-EPA 1992)	UK-POEM BBA Études d'expologie (Krieger 1995)	-

Si l'ensemble des données étape par étape sont disponibles pour mener une EQRS, leur fiabilité et leur pertinence et la possibilité de regrouper leurs résultats pour une évaluation du risque restent à étudier.

3.1.2 Place de la démarche par rapport aux autres approches sanitaires

Le principal avantage de l'EQRS par rapport à d'autres approches est l'évaluation *a priori* des conséquences sanitaires d'une exposition permettant de protéger l'individu. Ceci est illustré Figure 9.

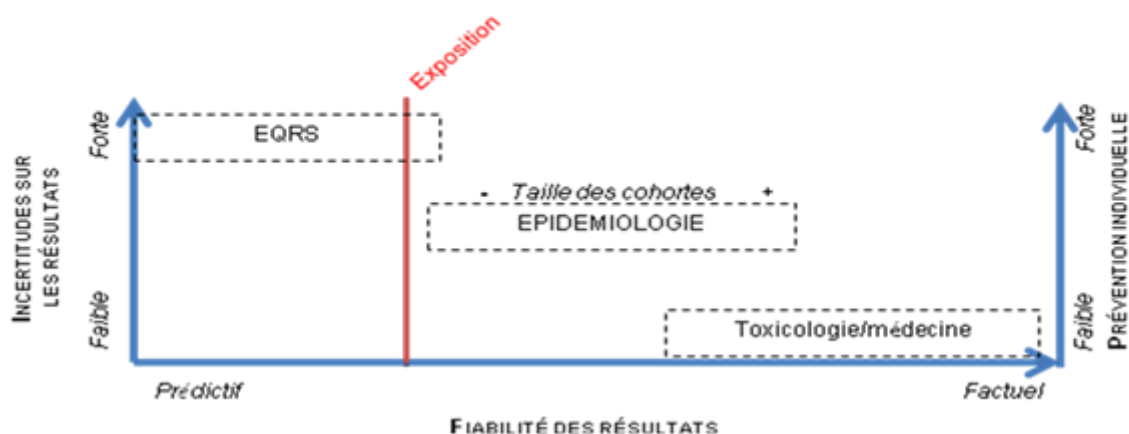


Figure 9 : Fiabilité, incertitudes et niveau de protection des différentes approches face au risque sanitaire lié à l'environnement.

L'EQRS peut apporter des résultats prédictifs, avant toute exposition. Les résultats s'expriment sous forme d'excès de risque, ou de nombre de cas attendus pour une exposition d'un groupe d'individus à une substance. Le pouvoir de prévention est important, car l'EQRS évalue l'ensemble des individus, avant exposition, et avant l'apparition de maladies. En contrepartie, la fiabilité des résultats de l'EQRS est largement tributaire des incertitudes sur les VTR et de celles des mesures d'exposition. Les conclusions rendues en EQRS sont toujours assorties de facteurs d'incertitude. A l'opposé, le diagnostic médical jouit d'une fiabilité très importante, puisqu'il se base sur des faits concrets : les individus malades. Il n'a cependant aucun pouvoir préventif puisque l'individu présente les symptômes conséquents à l'exposition. Entre l'EQRS et le diagnostic médical, se situent les études épidémiologiques dont la fiabilité dépend de la taille de la cohorte et du nombre de cas observés. Les études épidémiologiques peuvent prédire le nombre de cas attendus, néanmoins elles n'ont plus aucun pouvoir protecteur pour les individus déjà malades inclus dans les cohortes.

A l'heure actuelle, les études toxicologiques des produits phytopharmaceutiques disponibles sont fragmentées à une partie de l'EQRS : études toxicologiques des substances (Abdollahi, Ranjbar *et al.* 2004 ; Lyons et Watterson 2010), mesures de l'exposition lors de l'utilisation des produits phytopharmaceutiques (Colosio, Visentin *et al.* 2006 ; Vitali, Protano *et al.* 2009 ; Tulve, Egeghy *et al.* 2011), études ergonomiques des pratiques des agriculteurs (Garrigou, Baldi *et al.* 2011). Les études toxicologiques sont essentielles afin de classer les produits phytopharmaceutiques en fonction de leurs effets sanitaires possibles.

Parmi les approches possibles pour y parvenir, l'EQRS permet d'évaluer de façon plus individualisée le rôle de l'exposition aux produits phytopharmaceutiques sur la santé des agriculteurs (Committee on the Institutional Means for Assessment of Risks to Public Health 1983 ; US-EPA 2007). Cette méthodologie permet d'évaluer *a priori* les conséquences sanitaires liées à l'exposition à un polluant. En appliquant cette démarche à la population agricole, il pourrait être possible de caractériser un risque spécifique lié aux produits phytopharmaceutiques chez l'agriculteur.

3.1.3 Les valeurs toxicologiques de référence (VTR)

Deux approches permettent de fixer une VTR d'une substance : l'utilisation de bases de données (BDD) ou la réalisation d'un état de l'art bibliographique. Ce choix dépendra de la nature de l'étude et de ses objectifs. L'utilisation des bases se justifiera pour sélectionner rapidement une molécule en fonction de critères de recherche au sein de différentes BDD. L'état de l'art sur la molécule retenue permettra d'affiner les données, en analysant notamment les publications les plus récentes. Cette approche est la plus judicieuse en complément de l'utilisation des BDD. Cependant, lorsque le nombre de molécules à étudier est important, l'utilisation des BDD est un moyen rapide et efficace d'isoler des substances selon leur VTR.

3.1.3.1 Les bases de données (BDD)

Les bases de données (BDD) sont de puissants outils pour trouver rapidement un paramètre sur une substance chimique. Plusieurs organismes proposent des BDD : ces bases sont gratuites ou payantes, publiques ou privées, et les données qu'elles contiennent sont générales ou spécifiques sur la toxicité, l'écotoxicité ou divers paramètres physico-chimiques ainsi que des données réglementaires. La taille de ces BDD, leur fréquence de mise à jour sont très

variables. Les BDD entretenues par des agences d'état (bases publiques telles que celle de l'US-EPA ou de l'ANSES pour la France par exemple), assurent que les données enregistrées sont validées par les experts des agences.

Concernant les produits phytopharmaceutiques, plus de 30 bases de données en ligne sont répertoriées (ANSES 2010)

Les BDD souffrent cependant de plusieurs défauts:

- La lenteur des mises à jour : certaines bases contiennent plusieurs centaines de références et leur mise à jour requiert des années. Les dernières informations disponibles sur les substances dans la littérature scientifique ne sont pas toutes prises en compte dans les BDD. Les études utilisées pour classer les substances dans les bases ont parfois plusieurs décennies.
- Comparativement aux nombres de produits phytopharmaceutiques sur le marché, les BDD référencent peu de produits, par exemple seulement 10 % des produits phytopharmaceutiques du marché. La principale raison étant le manque de données toxicologiques ou épidémiologiques sur le rôle des produits phytopharmaceutiques sur les cancers.
- Les sources d'informations utilisées pour générer les BDD ne sont pas toujours clairement explicites, rendant l'expertise des données délicate.

Dans le cas de l'EQRS, l'utilisation de BDD demeure une approche rapide et fiable pour déterminer un paramètre toxicologique. Avant de choisir une BDD, il faut connaître le type de données à rechercher sur un produit. Dans le cas des produits phytopharmaceutiques, l'ANSES, dans un rapport de 2010, a analysé divers BDD disponibles.

3.1.3.2 Les bases de données spécialisées sur le cancer

Pour connaître le pouvoir cancérigène d'une substance chimique, il est possible de se reporter aux bases de données de l'Agence de Protection de l'Environnement des États-Unis (US-EPA) de l'Organisation Mondiale de la Santé (OMS) de Santé Canada ou de l'Union européenne. Ces quatre organismes classent de nombreuses substances en fonction de leur pouvoir cancérigène en quatre grandes catégories.

L'OMS classe les substances qu'elle évalue au sein du Centre International de Recherche sur le Cancer (CIRC). Cette classification est constituée de 4 groupes (WHO 2006):

Groupe 1 : "*carcinogenic to humans*" Cancérogène pour l'Homme. Ici les preuves toxicologiques et épidémiologiques permettent d'affirmer que la substance est cancérogène pour l'Homme.

Groupe 2A : "*probably carcinogenic to humans*" Probablement cancérogène pour l'Homme. Dans ce groupe se trouvent les substances dont les données chez l'animal sont suffisantes pour reconnaître une substance comme cancérogène, mais en revanche les preuves chez l'Homme sont encore insuffisantes pour confirmer la substance comme cancérogène certain pour l'Homme.

Groupe 2B : "*possibly carcinogenic to humans*" Possiblement cancérogène chez l'Homme. Dans ce groupe, les données toxicologiques et animales montrent une suspicion d'effet cancérogène, mais les données sont encore insuffisantes pour être applicables à l'Homme.

Groupe 3 : "*not classifiable as to its carcinogenicity to humans*" Non applicable à l'Homme. Dans cette catégorie, les données toxicologiques ne permettent pas de conclure sur le pouvoir cancérogène d'une substance.

- **Groupe 4** : "*probably not carcinogenic to humans*" Probablement non cancérogène chez l'Homme. Dans cette catégorie, les substances ne présentent pas de pouvoir cancérogène connu pour l'Homme.

En 2009, 108 substances ont été classées dans le groupe 1, 66 dans le groupe 2A, 248 dans le groupe 2B, 515 dans le groupe 3, et 1 dans le groupe 4 (EUROGIP 2010). La classification de l'US-EPA est calquée sur celle de l'OMS en 4 catégories, seule la dénomination des 4 catégories change (US-EPA 2005b). Ces quatre bases se ressemblent dans leur classification avec une sous classification des produits. Ces BDD s'appuient sur des études toxicologiques de cancérogénicité disponibles sur les substances. Ces bases font office de référence sur la cancérogénicité des substances chimiques. Ces 4 bases ainsi que leur type de classification sont synthétisées dans le Tableau 13.

Tableau 13 : Base de données et classification des substances cancérigènes (d'après Furetox)

Base	Groupes	Signification
IARC/OMS	Group 1	Carcinogenic to humans
	Group 2A	Probably carcinogenic to humans.
	Group 2B	Possibly carcinogenic to humans
	Group 3	Not classifiable as to its carcinogenicity to humans
	Group 4	Probably not carcinogenic to humans
US EPA (2005 Guidelines classification)	-	Carcinogenic to humans
	-	Likely to be carcinogenic to humans
	-	Suggestive evidence of carcinogenic potential
	-	Inadequate information to assess carcinogenic potential
	-	Not likely to be carcinogenic to humans
Santé Canada	groupe I	Cancérogène pour l'être humain
	groupe II	Probablement cancérogène pour l'être humain
	groupe III	Susceptibles d'être cancérogènes pour l'être humain
	groupe IV	Peu susceptibles d'être cancérogènes pour l'être humain
	groupe V	Probablement non cancérogènes pour l'être humain
	groupe VI	Inclassable en ce qui concerne la cancérogénicité chez l'être humain
European Chemicals Bureau	Category 1	Substances known to be carcinogenic to man
	Category 2	Substances which should be regarded as if they are carcinogenic to man
	Category 3	Substances which cause concern for man owing to possible carcinogenic effects but in respect of which the available information is not adequate for making a satisfactory assessment

Ces bases regroupent de nombreuses substances, dont des produits phytopharmaceutiques. Elles sont un moyen efficace et rapide de déterminer le potentiel cancérigène d'un produit. En cas d'EQRS portée sur le critère de danger « potentiel cancérigène », l'utilisation de ces bases permet de rapidement sélectionner les produits présentant cet effet sanitaire. Cependant, ces bases classent un nombre relativement restreint de substances chimiques, et la plupart des produits listés sont classés en catégories 3 ou 4, c'est-à-dire les substances n'ayant pas suffisamment de données pour pouvoir conclure quant à leur potentiel cancérigène : la catégorie 3 indique un potentiel "possible" ce qui peut aussi traduire la spécificité des effets sur l'animal, non extrapolables à l'homme. Le caractère cancérigène de la plupart des

substances chimiques, produits phytopharmaceutiques y compris, demeure actuellement incertain.

Les produits phytopharmaceutiques sont inclus dans ces bases et pour rechercher leur statut cancérigène la base de données du Pesticide Action Network est une des bases les plus complètes. Gratuite, disponible en ligne, elle référence près de 6400 substances et leur classification cancérigène au sein des bases présentées tableau précédent (Yamada, Bouneb *et al.* 2009).

3.1.3.3 Généralités sur les Valeurs Toxicologiques de Référence (VTR)

En EQRS, des bases de données spécifiques sont utilisées pour connaître la VTR de différentes substances. 11 bases de données (BDD) spécialisées dans les VTR (InVS 2011) sont disponibles. Parmi ces bases, les plus complètes concernant les valeurs toxicologiques sont celles de l'US-EPA, de Santé Canada et de l'ATSDR (Agency for Toxic Substances and Disease Registry). Au sein des BDD, la dénomination de la VTR est différente selon les bases et sont présentées Tableau 14.

Tableau 14 : Dénomination des VTR à seuil et sans seuil selon les bases de données

	Effets à seuil		Effets sans seuil	
	Inhalation	ingestion	Inhalation	ingestion
Bases de données généralistes				
ATSDR	MRL inh.	MRL oral.	-	-
OEHHA	CREL	Oral REL	Unit risk factor	CSF
OMS (CICADs)	GV ou TCA	GV	Inhalation unit risk ou TC0,05	Oral slope factor
RIVM	TCA	TDI	CR inhal.	CR oral
Santé Canada	CA	DJA	CT0,05	DT0,05
US-EPA	RfC	RfD	Air unit risk	Oral slope factor
JECFA	-	ADI ou PTWI ou PMTDI	-	-
Bases de données spécialisées dans les produits phytopharmaceutiques				
Agritox	-	DJA	-	-
JMPR	-	ADI	-	-
US-EPA produits phytopharmaceutiques	-	RfD	-	-
Compilateurs / moteur de recherche				
Ineris	oui	oui	oui	oui
RAIS	oui	oui	oui	oui

(D'après Furetox¹³)

Les VTR dites « sans seuil » sont les VTR utilisées pour les effets cancérogènes des substances (US-EPA 1993b, 2005a ; AFSSET 2010b). Les compilateurs sont utilisés pour trouver facilement une VTR en recherchant dans plusieurs bases simultanément.

L'expertise des VTR disponibles pour une substance est nécessaire pour déterminer leurs niveaux de fiabilité. La majorité des VTR étant des extrapolations à l'homme, d'études réalisées chez l'animal, des facteurs de sécurité sont appliqués aux résultats de ces études. Ces facteurs traduisent les incertitudes entourant les VTR. Plus les facteurs de sécurité sont élevés, moins la VTR est fiable (US-EPA 1993b). Dans le cas des produits phytopharmaceutiques, la voie dermique est la principale voie d'exposition chez l'Homme, cependant les VTR des produits phytopharmaceutiques ne sont pas construites sur des études de passage transdermique chez l'animal, mais sur des études par voie orale, rendant ces VTR peu fiables (Navidi et Bunge 2002).

Le choix de la VTR se fera sur le facteur d'incertitude, mais aussi sur la qualité d'études utilisées pour créer cette valeur. Certaines méthodes de construction de VTR étant plus fiables que d'autres : les VTR construites à partir de *Benchmark Doses* sont plus précises que celles reposant sur l'utilisation de NOEL (US-EPA 1993b, 1995). Le principe de transparence impose donc que le choix des VTR et des incertitudes qui les entourent soient clairement indiqués lors de la restitution des résultats.

3.1.3.4 Incertitudes sur les effets des mélanges de produits phytosanitaires

Peu de VTR existent sur les substances en mélanges, car les effets toxicologiques en mélanges des produits phytopharmaceutiques demeurent peu connus et difficiles à étudier (Sarigiannis et Hansen 2012). À l'image de ce qui est observable en sciences pharmaceutiques, les mélanges peuvent avoir deux types d'effets : des effets indépendants (c'est-à-dire aucune interaction entre les substances), ou une modification des effets. Dans ce deuxième cas, cette modification peut aboutir à une réduction toxicologique (certaines interactions chimiques sont utilisées dans le cadre de détoxification (Nambiar 2012), mais le cas le plus fréquent, est la potentialisation toxicologique, c'est-à-dire des effets toxicologiques augmentés par rapport à ceux observés lors de l'exposition aux produits seuls.

¹³http://www.furetox.fr/vtr_tableaux.html. Consulté en Juillet 2014.

Les évaluations de risques portées sur les mélanges demeurent délicates, et plusieurs approches des substances chimiques en mélanges existent (Feron, Cassee *et al.* 1998 ; Mumtaz, Ruiz *et al.* 2007 ; Sexton 2012). Elles tentent de proposer des stratégies d'évaluation des risques des substances en mélanges, y compris pour les produits phytopharmaceutiques (Reffstrup, Larsen *et al.*). Si pour certaines substances, des facteurs et coefficients toxicologiques existent permettant d'évaluer la toxicité des mélanges, dans le cas de produits phytopharmaceutiques, l'évaluation des mélanges se heurte aux limites des connaissances toxicologiques actuelles de ces substances. Ces effets synergiques sont suspectés pour les produits phytopharmaceutiques (Reffstrup, Larsen *et al.* ; Carpy, Kobel *et al.* 2000 ; Ngo, O'Malley *et al.* 2010 ; Hernández, Parrón *et al.* 2012b ; Hernández, Parrón *et al.* 2012a).

Les mélanges de produits phytopharmaceutiques peuvent avoir des effets toxicologiques comme par exemple sur le système immunitaire (Castillo-Cadena, González-Mercado *et al.* 2013), sur l'ADN (Bolognesi 2003 ; Bull, Fletcher *et al.* 2006 ; Graillot, Takakura *et al.* 2012), ou sur le système nerveux central (Moser, Padilla *et al.* 2012).

Sur l'aspect de l'exposition, de nombreux facteurs influent sur les mélanges de produits phytopharmaceutiques : le matériel employé, les formes des substances, l'utilisation de solvants ou d'excipients divers aux mélanges, les stratégies de traitements, le type de cultures, les conditions météorologiques et les doses employées. Ces facteurs rendent l'évaluation des mélanges très complexes, devant le nombre d'associations de produits phytopharmaceutiques. L'évaluation du risque sanitaire des mélanges de produits phytopharmaceutiques est actuellement soumise à de trop nombreuses incertitudes, tant sur les données toxicologiques, que sur les pratiques agricoles pour être significative.

3.2 Déterminants de l'exposition des agriculteurs

L'exposition humaine aux produits phytopharmaceutiques peut se produire lors d'une utilisation professionnelle par les agriculteurs en plein champ ou sous serres ou par les travailleurs dans les fabriques de produits phytopharmaceutiques (Wilson et Tisdell 2001 ; Damalas et Eleftherohorinos 2011). Les situations où l'exposition peut se produire sur l'exploitation sont nombreuses, et de nombreux facteurs peuvent modifier l'exposition aux produits phytopharmaceutiques lors de leur manipulation (Fenske et Day 2005).

3.2.1 Paramètres liés aux produits phytopharmaceutiques

Plus les produits phytopharmaceutiques sont volatils, plus ceux-ci se retrouvent facilement dans l'air environnant le traitement, et les produits les plus volatils pénètrent mieux à travers la peau et les voies respiratoires (Gil, Sinfort *et al.* 2007 ; Gil, Sinfort *et al.* 2008 ; Glass et Machera 2009). L'exposition cutanée aux produits phytopharmaceutiques dépend des propriétés physico-chimiques et en particulier des poids moléculaires des molécules : le pourcentage d'absorption percutanée d'une molécule est inversement proportionnel à sa masse molaire (Alikhan, Farahmand *et al.* 2009). La taille des particules pulvérisées peut influencer sur l'exposition respiratoire. Les particules de tailles supérieures à 100µm peuvent pénétrer la bouche et le nez, et celles de tailles inférieures à 10µm peuvent passer dans les poumons (Glass et Machera 2009). Plusieurs autres critères sont responsables de la capacité de pénétration des produits phytopharmaceutiques par la voie respiratoire chez les agriculteurs : la pression de vapeur des produits employés et le matériel utilisé (les atomiseurs produisant de petites gouttes sont plus susceptibles de favoriser une exposition respiratoire (Dowling et Seiber 2002)). Le confinement et la ventilation du lieu (lors des pulvérisations sous serres par exemple) ou encore les transformations chimiques des produits phytopharmaceutiques dans l'air (Atkinson, Guicherit *et al.* 1999) jouent aussi un rôle. Dans le premier cas, la contamination se fait par adsorption des produits phytopharmaceutiques sur des aérosols et dans le second cas les produits fortement volatils sont facilement respirés par l'utilisateur en cas de défaut de protection (Dowling et Seiber 2002). Dowling *et al.* recommandent ainsi d'éviter les produits phytopharmaceutiques à pression de vapeur

supérieure à 10^{-8} atm et d'éviter les formes liquides de produits phytopharmaceutiques en milieux confinés.

Néanmoins, les études sur les paramètres physico-chimiques influençant la pénétration respiratoire des produits chimiques sont nombreuses et contradictoires. L'importance de la taille des particules sur leurs capacités à pénétrer dans le système respiratoire est étudiée depuis de nombreuses années. Cette taille est considérée comme un critère essentiel : les particules les plus fines pénétrant plus profondément dans le système respiratoire (Heyder, Gebhart *et al.* 1986 ; Glover, Chan *et al.* 2008). Les connaissances en rhéologie ont aussi montré que la taille des particules n'était pas seule responsable de la capacité de pénétration dans le système respiratoire : la forme et l'état d'ionisation des particules jouant un rôle dans cette capacité, ainsi que l'âge, le sexe et les capacités respiratoires des individus influent aussi significativement (Brown, Gerrity *et al.* 1995).

La concentration et la formulation des produits sont aussi des facteurs jouant sur l'exposition. Les produits peuvent être sous forme de poudres, de granulés ou de liquides. Ces différentes formes n'ont pas la même capacité de pénétration. Les solvants employés pour les formes liquides peuvent augmenter la pénétration des produits phytopharmaceutiques à travers la peau (Glass et Machera 2009) et selon les études, les produits sous forme de poudre sont plus exposants que les autres types de produits phytopharmaceutiques (Colosio, Fustinoni *et al.* 2002 ; Glass et Machera 2009). D'autres auteurs estiment cependant que la forme des produits phytopharmaceutiques n'a pas d'importance significative sur l'exposition des agriculteurs puisque la contamination journalière n'est pas corrélée au type de formulation (Baldi, Lebailly *et al.* 2006). La concentration des substances actives est proportionnelle à l'exposition, et la manipulation des formes concentrées de produits phytopharmaceutiques est la plus exposante lors de la préparation selon Colosio *et al.* (Colosio, Rubino *et al.* 2012). Cependant, Lebailly *et al.* estiment que la concentration de la préparation dans la cuve n'a pas d'influence sur l'exposition lors de la phase de pulvérisation (Lebailly, Bouchart *et al.* 2009). Enfin, une concentration élevée en substance active dans le produit augmente la concentration dans la zone respiratoire des opérateurs notamment pendant les étapes de mélange/chargement et d'application. Certaines études indiquent que l'exposition par voies cutanée et respiratoire est directement proportionnelle à la dose d'application (Vitali, Protano *et al.* 2009), mais celle de Colosio *et al.* indique le contraire.

Le rôle de la formulation et de la dose d'application des produits phytopharmaceutiques dans l'exposition reste soumis à de nombreuses contradictions selon les études considérées. Seule la concentration des produits phytopharmaceutiques sous leur forme commerciale influant l'exposition semble faire consensus sur l'exposition des opérateurs.

3.2.2 Paramètres liés à la tâche réalisée

Sur ces paramètres, les études sont en désaccord concernant la phase du traitement la plus exposante. La plupart des auteurs estiment que les phases de préparation et de pulvérisation sont les plus importantes concernant l'exposition. Pour Baldi *et al.*, la pulvérisation est responsable de 50 % de l'exposition journalière totale. Cette forte exposition lors de la pulvérisation serait due à un mauvais port ou à un mauvais usage des EPI, et à des débordements de cuve. En contradiction, Glass *et al.* ont montré que la phase de préparation et de remplissage de la cuve expose plus que celle d'application (Glass et Machera 2009). La phase de nettoyage n'est pas négligeable dans l'exposition totale : le nettoyage compterait pour 20 % de l'exposition totale (Baldi, Lebailly *et al.* 2012). La durée de la tâche ne semble pas être un facteur jouant sur l'exposition (Lebailly, Bouchart *et al.* 2009 ; Vitali, Protano *et al.* 2009), au contraire du nombre de tâches réalisées : plus l'agriculteur effectue des tâches lors de la pulvérisation plus celui-ci est exposé (Baldi, Lebailly *et al.* 2012 ; Colosio, Rubino *et al.* 2012).

Il n'y a pas de consensus concernant la phase la plus exposante lors du traitement dans la littérature. Pour les modèles d'exposition cependant, la phase de préparation est celle qui expose le plus les opérateurs.

3.2.3 Paramètres liés au matériel de pulvérisation

Le type de matériel pulvérisé influence l'exposition. Les différents types de buses jouent sur la taille des gouttelettes qui peuvent ainsi plus ou moins pénétrer les voies aéro-digestives supérieures (Dowling et Seiber 2002 ; Nuyttens, Windey *et al.* 2004 ; Nuyttens, Braekman *et al.* 2009). Les pulvérisateurs manuels impliquent toujours une exposition plus importante de l'opérateur que les pulvérisateurs motorisés (Nuyttens, Braekman *et al.* 2009), du fait de la proximité des buses sur les systèmes portés. Les systèmes motorisés permettent de pulvériser derrière le tracteur, évitant à l'opérateur de pénétrer dans le nuage de bouillie. Enfin, plus la pression de pulvérisation est élevée, plus l'opérateur est exposé (Machado-Neto 2001), car

cela diminuera sensiblement la taille des gouttes lors de la pulvérisation, ce qui, en plus de favoriser l'exposition par voie respiratoire, augmente le temps de présence dans l'air en réduisant la vitesse de sédimentation des gouttes.

La taille de la cuve semble jouer aussi un rôle. Plus la cuve est grande, moins l'opérateur est exposé (Lebailly, Bouchart *et al.* 2009). Cela semble dû au fait que les grandes cuves réduisent la nécessité de refaire des préparations supplémentaires pour traiter l'ensemble de la parcelle, réduisant ainsi les tâches et le temps de contact avec les produits concentrés.

3.2.4 Paramètres liés aux EPI

Pour limiter l'exposition des agriculteurs aux produits phytopharmaceutiques, l'usage des EPI est recommandé en fonction du type de produits phytopharmaceutiques utilisés et des différentes étapes du traitement. Un jeu complet d'EPI est composé d'une combinaison de type 5/6, de bottes, d'un masque intégral ou d'un demi-masque de type A2P3 et d'une paire de gants en nitrile. Cette liste est un consensus des différentes recommandations issues des normes et des guides à destination des agriculteurs sur l'usage des EPI (Trinh 2013).

L'utilisation de gants de protection est très importante pour réduire l'exposition aux produits phytopharmaceutiques, si ceux-ci sont imperméables aux produits employés (Tuomainen, Mäkinen *et al.* 2002). Les gants en nitriles fournissent la meilleure protection face aux risques liés aux produits phytopharmaceutiques (Schwope, Goydan *et al.* 1992 ; Zainal et Que Hee 2003).

La difficulté de choisir les bons EPI est une critique souvent émise par les utilisateurs (Bonnefoy 2012). Pour aider les agriculteurs, la Fiche de Données de Sécurité (FDS) de chaque substance indique, en section 8, les équipements à employer. Cette section est plus ou moins riche selon les FDS, allant d'une simple recommandation de « porter des équipements appropriés » à des recommandations plus précises sur le type d'EPI avec les détails normatifs des EPI attendus sur ces équipements. L'inconfort des EPI est aussi un élément limitant leur usage par les opérateurs. Malgré la norme ISO 27065 sur les exigences de performance pour les vêtements de protection portés par les opérateurs appliquant des produits phytopharmaceutiques liquides, les EPI, et plus particulièrement le masque et la combinaison sont source d'inconfort (chaleur excessive) (De Almeida, Veiga *et al.* 2012). Certains agriculteurs préfèrent ne pas utiliser d'EPI pour ne pas être repérés par le voisinage. L'image

fortement négative des traitements auprès de la population est encore renforcée par l'utilisation des EPI, et plus particulièrement de la combinaison (Synamap 2002).

Le mésusage des EPI est un facteur d'exposition. En effet, la réutilisation d'EPI à usage unique est fréquente, particulièrement pour les combinaisons. Si celles-ci ne présentent pas de déchirure, elle n'est pas changée systématiquement. Sur le terrain, l'usage incorrect des EPI et le défaut d'entretien de ceux-ci est fréquent, mais peut être sporadique ou limité à un des EPI considéré comme le plus important (Reed, Browning *et al.* 2006 ; Giannandrea, Settimi *et al.* 2008 ; Feola et Binder 2010 ; Ribeiro, Colasso *et al.* 2012 ; Al-Haddad et Al-Sayyad 2013). Le retrait des gants est aussi problématique, ceux-ci sont souvent retirés sans faire attention à ne pas toucher la face extérieure conduisant à une exposition avec la partie contaminée. Les formations actuelles, comme le Certiphyto, insistent sur l'intérêt de l'usage de ces EPI et l'objectif est de faire prendre l'habitude de leur usage aux agriculteurs qui souhaitent effectivement les utiliser, car même si l'EPI est confortable, l'équipement peut être long et peu pratique à utiliser, ce qui est perçu comme un obstacle à son utilisation systématique.

Au-delà de l'approche individuelle de l'usage des EPI, il apparaît que ces équipements posent un problème d'efficacité. D'après les résultats de l'étude de l'AFSSET qui porte sur l'efficacité des combinaisons de protection chimique de type 3 et 4 en matière de perméation, seuls 20 % des EPI testés sont conformes aux performances annoncées par le fabricant et les autres modèles présentent des non conformités de degrés divers allant du passage immédiat du produit à une perméation inférieure à celle affichée (AFSSET 2010a). Ce constat a été confirmé par des études en milieu agricole (Garrigou, Baldi *et al.* 2011). Cependant, cette étude rappelle aussi que les comportements et le mésusage des EPI sont aussi à l'origine de leur manque d'efficacité en plus de leur efficacité technique parfois faible.

3.2.5 Paramètres liés au type de culture

La taille de l'exploitation joue un rôle non négligeable dans l'exposition des opérateurs. Les expositions semblent plus élevées dans les petites exploitations que dans les grandes, bien que les agriculteurs aient plus de produits phytopharmaceutiques à manipuler dans les grandes (Rubino, Mandic-Rajcevic *et al.* 2012). Les grandes exploitations en meilleure santé financière seraient plus concernées par la sécurité sanitaire, ce qui réduirait l'exposition par l'adoption de bonnes pratiques phytosanitaires. Les grandes exploitations disposent aussi de

plus de moyens pour le stockage, la mise à disposition des EPI, l'entretien du matériel et l'achat de matériel neuf (Baldi, Lebailly *et al.* 2006). Peu d'études sont disponibles sur l'influence du type de culture. Huges *et al.* ont comparé une culture basse et une culture haute et ont observé une contamination plus importante dans ce dernier type de culture (Hughes, Flores *et al.* 2008). La différence d'exposition entre les différents types de culture s'expliquerait par les matériels de pulvérisation spécifiques à chaque culture.

3.2.6 Paramètres liés aux conditions météorologiques

Les conditions météorologiques de pulvérisation ne sont aussi pas prises en compte dans les modèles, ou ne sont pas des facteurs modifiables. Pourtant, les fortes températures et l'humidité élevée tendent à augmenter la perméation des produits à travers les EPI ainsi que la pénétration à travers la peau (Brouwer, Marquart *et al.* 2001 ; Vitali, Protano *et al.* 2009). De plus, les fortes chaleurs poussent les agriculteurs à traiter sans EPI et avec les fenêtres des tracteurs ouvertes, si ceux-ci ne sont pas climatisés (Glass et Machera 2009 ; Aprea 2012). Le vent et sa vitesse influent sur l'exposition. Lors de la pulvérisation, en fonction du vent, de 30 à 50 % de la quantité appliquée peut être perdue dans l'atmosphère, sans atteindre les plantes (Gil, Sinfort *et al.* 2007 ; Gil, Sinfort *et al.* 2008). Un traitement est autorisé à la vitesse maximale du vent de 19 km/h, sans pluie.

3.2.7 Paramètres liés à l'opérateur

Le comportement des opérateurs peut sensiblement modifier l'exposition. Dosemeci *et al.* ont montré que l'hygiène personnelle peut réduire l'exposition, comme se laver les mains régulièrement, disposer de vêtements propres au traitement et se doucher après celui-ci (Dosemeci, Alavanja *et al.* 2002).

Le niveau d'éducation est aussi un paramètre important, en effet, plus l'opérateur dispose d'un niveau d'éducation élevée, plus l'exposition diminue (Colosio, Tiramani *et al.* 2009 ; Lebailly, Bouchart *et al.* 2009). Le statut de l'opérateur joue aussi. Les propriétaires semblent plus exposés que les employés agricoles (Baldi, Lebailly *et al.* 2012). Les propriétaires réalisant plus souvent le traitement que les employés.

Enfin, le facteur humain (expérience de l'opérateur, connaissance de la toxicité des produits, habitudes) module également l'exposition. Certains facteurs peuvent avoir une influence

contradictoire sur l'exposition. Par exemple l'expérience permet à l'opérateur d'éviter un maximum de contacts avec la bouillie mais paradoxalement elle lui confère un sentiment de sécurité trompeur qui peut accroître son imprudence et augmenter son exposition (Lambert, Richardson *et al.* 2010)

Les modèles ne prennent pas en compte ces facteurs, puisque ceux-ci considèrent l'utilisation des produits phytopharmaceutiques dans le cadre des bonnes pratiques (Le Borgne 2010).

3.2.8 Incertitudes sur les déterminants de l'exposition

Sur la forme commerciale des produits phytopharmaceutiques

Les formes poudreuses, granuleuses et liquides sont les formes les plus répandues. Les modèles d'évaluation des risques utilisés lors de l'autorisation de mise sur le marché ne prennent en compte que ces formes. Néanmoins, certaines spécialités sont vendues sous forme de sachets hydrosolubles. Ces sachets contiennent des poudres ou des liquides. En pratique, lors de l'utilisation des ces sachets hydrosolubles, lorsque ils sont jetés dans la cuve lors de la préparation du mélange, l'enveloppe hydrosoluble disparaît et les produits poudreux peuvent être volatilisés par le flux d'air avant dilution dans la cuve : ces formes se comportent peuvent comme une poudre. Néanmoins, la dispersion réelle des poudres contenues dans ces sachets n'est pas étudiée.

Enfin, la rhéologie des poudres et granules dépend de nombreux facteurs (taille des granules, volatilité, vitesse de sédimentation etc.), mais les modèles estiment l'exposition de la même façon pour toutes les substances, en fonction uniquement de leur forme générale.

Sur le matériel de pulvérisation

Sur le terrain, les combinaisons tracteur/cuves/pulvérisateurs sont très nombreuses. De plus, les modifications apportées par les agriculteurs à leur matériel rendent unique chaque pulvérisateur. Cependant, les modèles et études s'accordent sur la phase la plus exposante, qui est la phase de préparation de la bouillie. Durant cette phase le type de pulvérisateur n'intervient pas ou peu, limitant l'aspect matériel dans le résultat global. Ainsi le choix a été fait de considérer le matériel de pulvérisation comme identique pour chaque agriculteur dans la suite de ce travail.

3.3 Évaluation de l'exposition

Les produits phytopharmaceutiques après épandage restent présents dans l'environnement de travail de l'agriculteur (végétaux, sols, matériels) (Ramwell, Johnson *et al.* 2005) , selon la rémanence des matières actives employées.

Les études d'expologie en milieu agricole visent à estimer le degré d'exposition des agriculteurs aux produits phytopharmaceutiques lors de leur utilisation en fonction des pratiques agricoles. Les méthodes les plus employées pour évaluer l'exposition des agriculteurs sont les modélisations, les études de biomonitoring, et les mesures environnementales (US-EPA 1992 ; Krieger 1995 ; Fenske 2005 ; Angerer, Ewers *et al.* 2007)

3.3.1 Modélisation de l'exposition

Différents modèles existent pour évaluer l'exposition des agriculteurs aux produits phytopharmaceutiques lors de leur utilisation. Ces modèles génèrent des estimations de l'exposition des agriculteurs selon les pratiques, le matériel et les produits utilisés. Quatre modèles existent concernant l'exposition des agriculteurs, mais les modèles UK-POEM (Anglais) et BBA (Allemand) sont utilisés dans la constitution du dossier d'autorisation de mise sur le marché.

Les modèles sont répertoriés et comparés dans le Tableau 15 :

Tableau 15 : Comparaison des différents modèles d'exposition (Mäkinen 2003).

<i>Modèle</i>	<i>Mélange et chargement</i>	<i>Application</i>	<i>Valeurs par défaut (surface traitée par jour (ha), temps de travail par jour (h))</i>	<i>Source des données</i>	<i>Mode Statique des calculs</i>
UK Poem	ml ou mg de la formulation manipulée (déterminé par la taille et le type du continent)	ml de liquide pulvérisé	mélange/ chargement pour 1h application pour 6h, pulvérisateurs vers le bas 50 ha ; pulvérisateur vers le haut 30ha ; pulvérisateur à main 1 ha	Industrie ou autorités anglaises	75 ^{ème} percentile
Dutch model	mL ou mg de la formulation manipulée	mL ou mg of de liquide ou poudre manipulée	mélange/ chargement pour 1h application pour 6h, pulvérisateurs vers le bas 10 ha ; pulvérisateur vers le haut 5ha ; pulvérisateur à main 1 ha	Revue bibliographique de la littérature internationale et certaines études néerlandaises	90 ^{ème} percentile
German BBA modell	Par quantité de matière active manipulée (mg/kg)		pulvérisateurs vers le bas 20 ha ; pulvérisateur vers le haut 8ha ; pulvérisateur à main 1 ha	Industrie, autorités allemandes	Moyenne géométrique
PHED	Différents formats à choisir		Pas de valeur par défaut	Universités, autorités, industries des USA	Choisi par l'évaluateur

Les modèles BBA et UK-POEM prennent la forme d'une feuille de calcul Excel dans laquelle différents paramètres peuvent être intégrés et modifiés. Dans la Figure 10, une capture d'écran du modèle UK-POEM :

THE UK PREDICTIVE OPERATOR EXPOSURE MODEL (POEM)			
Application method	Tractor-mounted/trailed boom sprayer: hydraulic nozzles		
Product	Bloggo EC	Active substance	bloggo
Formulation type	organic solvent-based	a.s. concentration	480 mg/ml
Dermal absorption from product	10 %	Dermal absorption from spray	10 %
Container	5 litres narrow closure		
PPE during mix/loading	None	PPE during application	None
Dose	1 l/ha	Work rate/day	50 ha
Application volume	200 l/ha	Duration of spraying	6 h
EXPOSURE DURING MIXING AND LOADING			
Container size	5 litres		
Hand contamination/operation	0,2 ml		
Application dose	1 litres product/ha		
Work rate	50 ha/day		
Number of operations	10 /day		
Hand contamination	2 ml/day		
Protective clothing	None		
Transmission to skin	100 %		
Dermal exposure to formulation	2 ml/day		

Figure 10 : Capture d'écran du modèle UK-POEM

Dans ces modèles, les paramètres modifiables sont dans des cases vertes ou des listes déroulantes. Le réglage de ces paramètres entraîne automatiquement la modification de certains paramètres prédéfinis (comme sur cette capture les cases F9 et F10 sur la durée de travail) et donne les résultats d'exposition selon les différentes voies d'exposition (partie basse de la capture d'écran).

Les modèles BBA et UK POEM

Ces deux modèles font office de référence car ils sont utilisés dans le dossier d'AMM pour la partie mesure de l'exposition. Ces deux modèles se ressemblent dans la forme (feuille Excel) mais leurs algorithmes de calculs sont différents.

Le modèle BBA laisse une grande liberté concernant le port des EPI. Ceux pouvant être utilisés ou non sont les suivants :

- Gants de protection ;
- Combinaison de protection standard et chaussures ;
- Combinaison de type 3 (protection chimique) ;
- Chapeau à large bord et tissu solide ;
- Capuche et visière ;
- Demi-masque filtrant type FF2-SL ou demi-masque à filtre à particule de type P2 ;
- Demi-masque A1P2.

Le modèle BBA fonctionne en 2 temps. En premier lieu, il calcule l'exposition lors de la préparation de la bouillie puis celle lors de la pulvérisation. Ensuite les 2 valeurs d'exposition sont additionnées donnant une exposition exprimée en mg de produit par kg de poids corporel et par jour. Le poids est fixé à 70 kg, valeur non modifiable. Le modèle BBA se base sur des moyennes statistiques géométriques pour les calculs.

Le modèle UK-POEM laisse moins de liberté quant aux choix des EPI pouvant être utilisés lors des scénarios d'exposition. Comme pour le modèle BBA, le modèle UK-POEM calcule l'exposition lors de la préparation de la bouillie puis lors de la pulvérisation. Cependant, la voie respiratoire n'est pas prise en compte lors de la préparation de la bouillie pour les produits sous forme liquide contrairement au modèle BBA. Ensuite des facteurs de pénétration cutanée sont appliqués à ces valeurs (10 %, ou 100%) qui sont multipliés pour obtenir la dose journalière absorbée de produit, exprimée en kilogramme de poids corporel (60 kg pour le modèle UK-POEM). Le modèle UK-POEM se base sur le 75^{ème} percentile pour les données statistiques, choix qui n'est pas expliqué. Le modèle UK-POEM permet d'évaluer

des paramètres liés aux contenants (volume des bidons et sacs de produits phytopharmaceutiques).

Les différences entre les modèles BBA et UK-POEM tiennent dans la façon dont les données sont analysées statistiquement (respectivement moyennes géométriques contre percentiles) et sur les différents matériaux et EPI paramétrables pour les modélisations. Ce sont des modèles déterministes. Ces modèles se basent sur des études anciennes et utilisent des valeurs conservatrices et ont tendance à surestimer l'exposition. Ces modèles souffrent d'un manque de représentativité de l'activité agricole de par la pauvreté des scénarios inclus et la non prise en compte de nouvelles formulations (sachets hydrosolubles par exemple) et d'EPI récents (masque A2P3 et tablier par exemple). Néanmoins, ils offrent une souplesse et une rapidité d'exécution importantes permettant, à partir de peu de renseignements d'estimer une exposition dont les résultats, permettent une comparaison rapide et directe.

Les modèles UK-POEM et BBA prennent en compte les paramètres suivants pour la modélisation, et permettent de les modifier :

- Formulation des produits ;
- Concentration ;
- Méthode d'application ;
- Direction de pulvérisation (culture haute ou basse) ;
- Absorption cutanée et respiratoire ;
- Usage ou non des EPI et différents niveaux d'utilisation ;
- Quantité de produits appliqués ;
- Durée d'application ;
- Surface traitée ;
- Niveau d'automatisation ;
- Étapes du traitement ;
- Type d'EPI (matière).

Les paramètres suivants sont pris en compte dans les modèles, mais ne sont pas modifiables :

- Volatilité des produits ;
- Nettoyage du matériel ;
- Incidents ou accidents lors du traitement (débordement de cuve, éclaboussures accidentelles, buses bouchées) ;
- État des EPI (toujours considérés comme neufs) ;
- Conditions climatiques ;
- Hygiène et expérience de l'utilisateur ;
- Fréquence d'application.

3.3.2 Biomonitoring humain (BMH)

Le biomonitoring consiste à mesurer la présence de substances chimiques dans l'organisme vivant, le plus souvent chez l'Homme. Généralement les produits chimiques qui ont pénétré dans l'organisme par différentes voies (orale, dermique, inhalée...) sont éliminés tels quels ou sous forme de métabolites par l'intermédiaire de matrices biologiques (sang, urine, salive...). Le biomonitoring humain sert à mesurer, ou à mettre en évidence, une exposition aux produits chimiques et permet de déterminer la dose interne. Lors du BMH, toutes les voies d'exposition sont prises en compte permettant d'en faire la somme. Pour une substance chimique absorbée par les voies respiratoire et cutanée les métabolites seront retrouvés dans les urines (si ce métabolite est éliminé par les urines) quelle que soit la voie d'entrée (Angerer, Ewers *et al.* 2007). Les études de BMH sont aussi plus précises que les modélisations concernant l'exposition : les modèles donnent souvent des résultats d'exposition bien supérieurs aux valeurs réelles (en cause : la maximalisation des paramètres) et ceci, même si ces modélisations s'appuient sur des valeurs de contamination, mesurées sur le terrain, de très bonnes qualités (Liebl, Schettgen *et al.* 2004 ; Lunchick, Honeycutt *et al.* 2005). Enfin, les études de BMH ont un coût moins élevé que les études de mesures environnementales (Angerer, Ewers *et al.* 2007). Cependant, les études de BMH comportent aussi des inconvénients : comme pour les mesures environnementales, il faut recruter des volontaires ce qui demande plus d'organisation et de temps qu'une modélisation. De grandes variabilités existent concernant les demi-vies d'élimination des produits phytopharmaceutiques et les substances à courtes demi-vies peuvent passer inaperçues en biomonitoring humain dans le cas où les prélèvements sont trop espacés. Ceci implique donc de connaître les caractéristiques pharmacocinétiques du produit afin de bien organiser la campagne de prélèvements (Bradman et Whyatt 2005 ; Needham, Calafat *et al.* 2007). La peau peut aussi jouer une zone tampon différant l'exposition et le moment où le produit sera retrouvé dans le sang et les matrices. Enfin, si l'exposition à une substance chimique se fait au domicile ou/et au travail, il est impossible de dire où celle-ci est la plus importante, dans la mesure où discriminer les métabolites d'une même substance en fonction du lieu d'exposition n'est pas réalisable par biomonitoring. Dans le cadre de ce travail, l'impossibilité de séparer exposition professionnelle de celle en dehors des traitements exclut l'utilisation du biomonitoring. L'urine et le sang sont les matrices les plus utilisées en BMH. L'urine permet de disposer rapidement de volumes plus importants que le sang, ce qui permet de quantifier des concentrations très

basses. Toutefois le sang possède l'avantage de récupérer des cellules permettant d'étudier les effets sur l'ADN de certains polluants (Angerer, Ewers *et al.* 2007). Ainsi, pour les polluants à demi-vies très courtes, éliminés du sang et des urines en quelques jours, il est possible d'élargir la fenêtre temporelle durant laquelle le BMH est possible en étudiant les effets sur l'ADN, s'il y en a, car ces effets sont visibles bien plus longtemps (Needham, Calafat *et al.* 2007). Concernant les ongles, la salive, ou encore les cheveux, ce sont des matrices biologiques attractives car le prélèvement est facile à réaliser (moins invasive qu'un prélèvement sanguin) et novatrices (dans la mesure où en BMH, le sang et les urines constituent la majorité des études disponibles), mais il n'existe pas encore de procédures standardisées pour ces matrices, que ce soit pour la salive (Esteban et Castaño 2009), ou les cheveux (Schramm 2008). Le sperme a déjà servi comme matrice en BMH pour mettre en évidence la présence de produits phytopharmaceutiques dans celui-ci (Perry, Venners *et al.* 2007), qui altèrent la qualité (forme et mobilité) des spermatozoïdes (Kumar, Pant *et al.* 2000 ; Younglai, Foster *et al.* 2002 ; Pant, Kumar *et al.* 2007). Toutefois, le sperme est plutôt destiné à étudier l'impact des xénobiotiques sur la fertilité. Le lait maternel sert aussi souvent de support au biomonitoring humain. De façon plus anecdotique, des prélèvements de selles ont aussi servi pour le biomonitoring humain de l'exposition de travailleurs utilisant des produits phytopharmaceutiques basés sur des bactéries (Jensen, Larsen *et al.* 2002a ; Jensen, Larsen *et al.* 2002b), mais cette matrice demeure encore rarement utilisée.

D'un point de vue évaluation du risque sanitaire, en cas de manque d'informations sur les voies d'exposition et de métabolisation des produits chimiques dans l'organisme, il est difficile de relier les résultats des études de BMH aux sources et voies d'exposition. Les études strictement de BMH peuvent difficilement servir à établir des stratégies de gestion de risque, s'il est impossible d'établir le lien entre dose interne et dose externe (Albertini, Bird *et al.* 2006 ; Jakubowski 2012). À l'inverse, si le processus de contamination (voie de pénétration, métabolisme, élimination) est bien connu, le BMH est un excellent outil d'évaluation de risque.

Comme toute méthode de mesure, le BMH pose quelques problèmes en particulier la nécessité d'avoir des méthodes de dosage standardisées dans les matrices, ou encore de bien planifier la campagne de prélèvement. Si la stratégie de prélèvement ainsi que les méthodes d'analyses sont de bonne qualité, le BMH, dans le cadre d'une évaluation de risque sanitaire, a toute sa place et peut servir dans la phase de mesure des expositions, avec plus de précisions

qu'une modélisation. Le nombre d'études de BMH est passé de près de 400 études dans les années 80, à plus de 1400 dans les années 2000 (Needham, Calafat et al. 2007).

3.3.3 Mesures environnementales

3.3.3.1 Méthode des patchs

Très répandue dans le cadre de la mesure de l'exposition des agriculteurs aux produits phytopharmaceutiques, la méthode des patchs consiste à appliquer à différents endroits du corps des carrés de tissus absorbants afin de modéliser l'exposition globale.

Le nombre de patchs utilisés par ouvrier dépend des protocoles employés. Ainsi le protocole le plus utilisé, développé par l'OCDE (Mäkinen 2003), recommande l'utilisation de 13 patchs (OCDE 1997), là où le protocole de l'OMS recommande 6 patchs (WHO 1986). La taille des patchs peut aussi fortement varier selon les études. La taille la plus communément utilisée est un patch de 10×10cm (Fenske 1993). L'application des patchs se fait de façon uniforme afin d'obtenir un échantillonnage homogène des parties du corps, ou selon la méthode du *pire-cas*, c'est-à-dire sur les zones du corps les plus exposées (Mäkinen 2003). La taille des surfaces du corps de l'adulte est standardisée afin de pouvoir estimer la contamination totale (Fenske et Day 2005).

Les surfaces et la localisation des patchs sont rassemblées Tableau 16.

Tableau 16 : Surfaces des régions du corps d'un adulte et localisation des patchs pour mesurer l'exposition dermique

(US-EPA 1987)

<i>Région du corps</i>	<i>Surface de la région (cm²)</i>	<i>Localisation du patch</i>
<i>Tête</i>	1300 (inclus le visage)	Épaules, dos, torse, tête
<i>Visage</i>	650	Haut du torse, tête
<i>Dos du cou</i>	110	Haut du dos
<i>Face avant du cou</i>	150	Haut du torse, tête
<i>Torse, ventre</i>	3550	Torse
<i>Bras</i>	2910	Épaules et bras
<i>Avant-bras</i>	1210	Avant-bras
<i>Mains</i>	820	Gants ou rinçage des mains
<i>Cuisses</i>	3820	Cuisses
<i>Bas des jambes</i>	2380	Tibias
<i>Pieds</i>	1310	Chaussettes

Cette méthode peut cependant aboutir à des surestimations en cas de contamination accidentelle des patchs (éclaboussures) ou des sous estimations en cas de non contacts des produits phytopharmaceutiques avec les patchs (Soutar, Semple *et al.* 2000).

3.3.3.2 Autres méthodes de mesures environnementales

Les plus utilisées sont des mesures dans l'eau et dans l'air. Les mesures de la contamination des eaux n'ont que peu d'intérêt dans l'évaluation de l'exposition des agriculteurs. La surveillance de la qualité de l'air en ville ou dans les habitations se fait par mesures atmosphériques (Whitmore, Immerman *et al.* 1994) et ces résultats peuvent servir en évaluation de risque sanitaire pour les populations concernées. Néanmoins, si la contamination par la voie respiratoire est, avec la voie orale, la principale source d'exposition du grand public aux produits phytopharmaceutiques, cette voie n'est que peu responsable de l'exposition totale des agriculteurs (Dowling et Seiber 2002 ; Nuyttens, Windey *et al.* 2004 ; Garcia-Jares, Regueiro *et al.* 2009 ; Bräuner, Mayer *et al.* 2011) ; dès lors, les études d'expologie se font essentiellement par des mesures de contamination de la peau chez les agriculteurs (Fenske 1993 ; Krieger 1995).

3.3.4 Bilan des méthodes de mesures de l'exposition

Le Tableau 17 récapitule les avantages et inconvénients des différentes approches.

Tableau 17 : Comparaison des différentes approches de mesure de l'exposition.

	Avantages	Inconvénients
<i>Modélisation</i>	Simple à mettre en œuvre Rapide à mettre en place Peu coûteux Nombreux scénarios évaluable en peu de temps Prend en compte l'impact des EPI	Nombreuses incertitudes Modèles incomplets concernant les différents paramètres influençant l'exposition Paramètres de construction de modèles très anciens
<i>Biomonitoring</i>	Dosage précis Prend en compte l'impact des EPI	Coûteux Impossibilité de remonter à la dose externe Nécessite de connaître les voies métaboliques Non discriminant concernant les contaminations non professionnelles Peu de méthodes de dosage disponibles
<i>Mesures environnementales</i>	Évaluation des zones contaminées précises Aspect temporel de la contamination prise en compte Pas de biais de la contamination non professionnelle Dosages précis Prend en compte l'impact des EPI	Coûteux Pas toujours de méthodes de dosage disponibles Sur ou sous-estimation possibles Plusieurs méthodes disponibles : problèmes de reproductibilité des résultats Incertitude importante concernant l'extrapolation de l'exposition.

Les coûts de l'étude, le temps nécessaire ou la précision souhaitée des résultats doivent orienter le choix de la méthode de mesure de l'exposition à retenir.

Au regard des besoins de ce travail, les mesures environnementales et les modélisations sont les moyens d'évaluations de l'exposition les plus adaptées pour révéler l'impact de la perception sur le risque sanitaire. Les modélisations peuvent s'effectuer selon les conditions de bonnes pratiques d'usage des produits phytosanitaires et ainsi être comparées aux expositions réelles sur le terrain, évaluées par mesures environnementales. Les méthodes de prélèvement choisies devront permettre de cibler les produits phytopharmaceutiques et ainsi d'éviter les biais d'exposition (exposition non professionnelle et exposition à d'autres substances cancérigènes).

3.4 Perception du risque en agriculture

En France, le risque sanitaire lié aux produits phytopharmaceutiques est perçu comme élevé pour 66 % de la population, derrière le tabagisme chez les jeunes (72 %), la drogue (72 %), la pollution des lacs, des rivières et des mers (66 %), mais devant l'alcoolisme (65 %), les déchets chimiques (65 %) et la pollution atmosphérique (63 %) (IRSN 2012). Cette perception négative du risque des produits phytopharmaceutiques tranche avec les études scientifiques concernant le rôle de la pollution environnementale sur l'apparition de pathologies chroniques chez l'homme, qui placent le risque pesticide loin derrière le tabagisme et l'alcool, l'obésité et le surpoids ainsi que divers agents infectieux (tableau 4). Cette différence d'interprétation des données s'explique par le fait que les scientifiques et la population générale n'estiment pas le risque de la même façon (Bostrom 1997 ; IRSN 2003). La perception négative du risque phytopharmaceutique s'explique par le fait que la plupart des travaux publiés sur ces produits se focalisent sur leurs aspects indésirables (Cooper et Dobson 2007).

La perception d'un risque est une évaluation subjective de la probabilité qu'un type spécifique d'accident se produise et à quel point l'individu concerné en évalue les conséquences (Sjöberg, Moen *et al.* 2004). Mais la perception du risque va au-delà de l'individu, c'est une construction sociale et culturelle qui reflète les symboles, les valeurs, l'histoire et l'idéologie d'une société (Slovic 1987 ; Sjöberg 2000 ; Sjöberg, Moen *et al.* 2004). La perception d'un risque dépend donc de l'individu et de son environnement. Parmi les facteurs d'acceptation du risque, la sensation de maîtrise de celui-ci apparaît comme déterminante pour son acceptation. Plus le niveau perçu de contrôle du risque augmente, plus le déni du risque augmente (Sjöberg 2000).

Dans le monde agricole, peu d'études détaillent les causes et conséquences de la perception du risque phytosanitaire. Cependant, l'enquête de l'URCAM et de la DRASS sur la perception des risques encourus par les utilisateurs de produits phytopharmaceutiques dresse un bilan factuel de la façon dont les agriculteurs perçoivent le risque. Sur l'approche individuelle du risque, ce travail montre que les agriculteurs redoutent les conséquences sanitaires sur le long terme liées aux produits phytopharmaceutiques. La moitié des

agriculteurs interrogés estiment courir le risque de développer des cancers à cause de l'utilisation de produits phytopharmaceutiques, et 85 % d'entre eux estiment qu'ils vont certainement, ou probablement, en subir les conséquences sanitaires. Malgré ce constat de gravité et de probabilité importante de risque sanitaire, les agriculteurs, y compris ceux qui ont une perception négative forte du risque sanitaire, continuent à utiliser les produits phytopharmaceutiques (Wilson et Tisdell 2001). Le seul fait d'avoir conscience du risque ne suffit pas à dissuader de l'utilisation des produits phytopharmaceutiques. A ce stade, se pose la question de savoir quels sont les paramètres qui poussent les agriculteurs à utiliser les produits phytopharmaceutiques.

L'environnement et le milieu professionnel jouent un rôle dans la place qu'occupent les produits phytopharmaceutiques dans l'activité agricole. L'utilisation des produits phytopharmaceutiques dans le monde agricole est fortement ancrée dans le métier de même que le risque sanitaire associé. Nicourt *et al.* parlent de *normalité sanitaire* (Nicourt et Girault 2009, 2011). L'auteur montre aussi le rôle des techniciens dans les traitements. Ceux-ci sont de véritables accompagnateurs des agriculteurs et tissent un lien important entre eux, notamment sur les pratiques phytosanitaires. En découle une *communauté de pratiques* architecturée autour des techniciens ou des coopératives conduisant à une normalisation des traitements auprès des agriculteurs. L'ensemble de ces processus pousse de nombreux agriculteurs à estimer qu'ils n'ont pas d'autres choix que de traiter, tant le traitement est inscrit dans la pratique (URCAM et DRASS 2003). Cette notion de risque sanitaire lié au métier n'est pas propre à l'agriculture puisque chaque métier présente ses différents types de risques (Moriceau 2009). La professionnalisation tend à rendre un risque auquel un individu est exposé comme moins important pour le travailleur que pour le profane (Omnès 2009). Il y a donc une pression socioprofessionnelle de banalisation du risque chez les agriculteurs et la banalisation d'un risque contribue à son acceptation (Setbon et Raude 2008).

Même si le risque est banalisé dans le milieu agricole, les agriculteurs ne sont cependant pas laissés seuls face au risque. De nombreuses campagnes de prévention et de formation sont mises en place en France dans le but de réduire l'exposition aux produits phytopharmaceutiques (Testud F. 2007 ; Agriprotect, ESA *et al.* 2008 ; Dupupet, Berson-Vigouroux *et al.* 2012). Mais ces formations ne semblent pas réduire le risque à elles seules. En effet, bien que des études indiquent que la plupart des intoxications aux produits phytopharmaceutiques sont dues à un manque de connaissances dans les pays en voie de

développement (Koh et Jeyaratnam 1996 ; Litchfield 2005 ; Hashemi, Rostami *et al.* 2012), les études menées dans des pays développés montrent que les mesures de protection adoptées par les agriculteurs face aux produits phytopharmaceutiques sont souvent faibles malgré les connaissances importantes liées au risque produits phytopharmaceutiques (Damalas, Georgiou *et al.* 2006). Il n'y a pas de lien direct entre les formations et l'adoption de pratiques visant à réduire le risque.

Cela pose la question de savoir quels sont les autres facteurs responsables de la perception et de l'acceptation du risque chez les agriculteurs qui, malgré les connaissances du risque, continuent à ne pas systématiquement se protéger. Parmi ces facteurs, le plus important pour évaluer le risque d'un produit phytopharmaceutique est l'expérience qu'a eu l'opérateur vis-à-vis de celui-ci (Hashemi, Hosseini *et al.* 2012). Cette expérience pratique, concrète et personnelle a plus de poids sur les modifications des comportements portant sur la réduction du risque que le savoir abstrait qu'offrent les formations et les connaissances acquises (Lichtenberg et Zimmerman 1999). Ceci explique pourquoi les messages de sécurité et de prévention n'ont que peu d'impact sur les agriculteurs, car ces messages ne prennent pas en compte l'aspect pratique et l'expérience de l'agriculteur et représentent une version abstraite du risque (Bostrom 1997 ; Davik et Slovic 2003 ; IRSN 2003 ; Viviana Waichman, Eve *et al.* 2007). Ces messages sont édités avec une approche scientifique et technique, rendant difficile la compréhension par les agriculteurs (Damalas, Theodorou *et al.* 2006 ; Viviana Waichman, Eve *et al.* 2007),

Déterminants du risque et acceptation

Dans l'étude de l'URCAM (URCAM et DRASS 2003), les agriculteurs interrogés estiment, pour près de 50 % d'entre eux, que le plus dangereux dans les produits phytopharmaceutiques c'est « la façon dont on s'en sert », contre 25 % qui estiment que ce sont les produits phytopharmaceutiques en eux-mêmes. Le quart restant impute le danger aux deux. Le rôle seul du produit phytopharmaceutique, que l'agriculteur ne peut maîtriser, est minimisé par celui-ci. Ceci conduit les agriculteurs à s'estimer pour seuls responsables du risque phytosanitaire. Les agriculteurs estiment maîtriser le risque phytosanitaire par le développement de pratiques visant à réduire l'exposition (Nicourt et Girault 2009). Cette approche du risque permet à l'agriculteur d'estimer garder le contrôle sur l'exposition. La principale voie de contrôle de son exposition passe par la modification et l'adaptation des

pratiques agricoles en fonction des produits perçus comme dangereux (Bouyer, Bagdassarian *et al.* 2001 ; Nicourt et Girault 2009 ; Girault 2011 ; Boissonnot et Grimbuhler 2012b ; Hashemi, Hosseini *et al.* 2012 ; Ríos-González, Jansen *et al.* 2013).

La perception varie selon les produits, mais aussi selon les agriculteurs (URCAM et DRASS 2003). Face à celui-ci, l'agriculteur dispose de nombreux déterminants pour l'évaluer. L'odeur, la couleur, la forme ou le type de produits sont autant de paramètres qu'utilisent les agriculteurs pour estimer le risque de chaque produit (Damalas, Georgiou *et al.* 2006 ; Paustenbach et Gaffney 2006 ; Dalton et Jaén 2010 ; Thierauf, Weinmann *et al.* 2010). Ces facteurs sont nombreux et dépendent de chaque agriculteur, de chaque tâche et de chaque produit employé. Les combinaisons sont très nombreuses. Afin de pouvoir qualifier et quantifier ces déterminants, les travaux de Sandman (Sandman, 1993) ont été utilisés. Sandman propose une série d'*outrages*¹⁴ qui déterminent la préoccupation face au risque. Cette approche est applicable à de nombreuses formes de risques et permet de classer l'ensemble des déterminants de la perception des agriculteurs dans ces *outrages*.

Cette approche permet aussi pour un tiers d'interpréter les informations fournies par les agriculteurs et d'ainsi mieux comprendre les facteurs d'acceptation du risque. Le Tableau 18 reprend les 17 outrages proposés par Sandman ainsi que les paramètres en faveur ou en défaveur de la représentation du risque.

¹⁴ Outrage est le terme laissé volontairement en Anglais (en italique dans le texte) car sans équivalent en Français. La traduction littérale française « outrage » a un sens négatif qu'il n'a pas en Anglais.

Tableau 18 : Facteurs et conditions de perception d'un risque
(D'après Sandman 1993)

<i>Facteurs</i>	Conditions associées avec une augmentation de la préoccupation du public	Conditions associées avec une diminution de la préoccupation du public
<i>Potentiel catastrophique</i>	Effets groupés dans le temps et l'espace	Effets dispersés et aléatoires
<i>Familiarité</i>	Non familier	Familier
<i>Compréhension</i>	Mécanismes et processus non connus	Mécanismes et processus connus
<i>Incertitudes</i>	Risque scientifiquement inconnu et incertain	Risque connu et décrit par la science
<i>Contrôle du risque</i>	Contrôlé par soi même	Contrôlé par les autres
<i>Volontariat de l'exposition</i>	Volontaire	Involontaire
<i>Effets sur les enfants</i>	Spécifiques aux enfants	Non spécifiques aux enfants
<i>Manifestation des effets</i>	Effets retardés	Effets immédiats
<i>Identité des victimes</i>	Victimes identifiable	Victimes non identifiables
<i>Craintes</i>	Effets craints	Effets non craints
<i>Croyances dans les institutions</i>	Faible	Forte
<i>Couverture médiatique</i>	Forte	Faible
<i>Accidents historiques</i>	Majeurs et parfois mineurs	Pas d'accidents
<i>Equité</i>	Risques et bénéfices partagés	Pas de partage du bénéfice
<i>Réversibilité des effets</i>	Irréversible	Réversible
<i>Origine</i>	Humaine	Naturelle ou divine
<i>Bénéfices</i>	Bénéfices peu certains	Bénéfices certains

Ce tableau indique qu'en fonction du sens des facteurs de perception, un risque peut être accepté ou rejeté. Dans le cas de l'agriculture, la problématique est de savoir où se situent les agriculteurs pour chaque déterminant de la perception du risque phytosanitaire.

Pour chaque déterminant, l'objectif est de définir si celui-ci a un impact réel sur le risque sanitaire encouru. La perception d'un risque n'est pas la même si un individu est directement concerné par ce risque ou s'il en est un spectateur externe : l'interprétation des données, l'importance accordée aux stimuli environnementaux, les informations sur le risque sont perçus et interprétés différemment (Bostrom 1997 ; IRSN 2003).

Slovic et al. (Slovic 1987) ont détaillé les mécanismes de perception. Deux systèmes d'évaluation du risque se confrontent : les systèmes « analytique » et « expérimental ». Le système analytique est appliqué dans le monde scientifique évaluant et interprétant le risque

au travers des protocoles définis, logiques, raisonnés et qui proposent des résultats justifiés par des preuves. C'est le système de l'évaluation du risque mis en place dans l'ensemble des structures scientifiques, universités, entreprises et agences d'évaluation sur le risque sanitaire et appliqué par des experts dans différents domaines de risque.

Le second système est l'évaluation par le ressenti ou « risk as feeling » comme nommé par Slovic (Slovic 2006). C'est une évaluation rapide et innée du risque qui est prépondérante chez l'Homme vis-à-vis d'un risque inconnu. C'est une perception du risque que les expériences passées, face à celui-ci, contribuent à forger. Ce système - très individualisé (Bouyer, Bagdassarian *et al.* 2001) - fait appel à l'expérience qu'a l'individu d'un risque et au ressenti qu'il en a eu. Par opposition au système analytique, le système expérimental est influencé par des facteurs non scientifiques et souvent empiriques et irrationnels comme les émotions. Dans le système expérimental d'évaluation du risque l'affect et l'expérience prennent une place majeure. Slovic nomme ce processus *l'affect heuristic* (Slovic et Peters 2006 ; Slovic, Finucane *et al.* 2007). C'est le processus mis en place par un profane, un non expert face à un risque.

Les déterminants définissant les deux approches, expérimentale et analytique sont présentés Tableau 19 :

Tableau 19 : Déterminants des deux systèmes d'évaluation du risque (d'après Slovic *et al.*).

<i>Système expérimental</i>	Système analytique
<i>Holistique</i>	Analytique
<i>Affectif</i>	Raisonné
<i>Associationiste</i>	Logique
<i>Croyances influencées par les expériences passées</i>	Connaissances influencées par l'évaluation des événements actuels
<i>Encode la réalité par des images concrètes, des métaphores et des narrations</i>	Encode la réalité par des symboles abstraits, des nombres et des mots
<i>Processus rapide : pour une prise de décision immédiate</i>	Processus lent : pour une prise de décision retardée
<i>Auto-évaluation/auto-validation</i>	Nécessite une justification par des preuves

Ces déterminants de la perception du risque sont contradictoires. Le système analytique reprend les codes de la méthode scientifique, et l'approche expérimentale fait appel à de nombreux facteurs irrationnels et à des facteurs n'ayant pas leur place dans une démarche scientifique. La confrontation de ces deux approches de l'évaluation du risque permet de

comprendre les mécanismes de la perception et la différence de perception entre profanes et experts en risque sanitaire (Bostrom 1997 ; Frewer 2004).

L'environnement qui entoure le risque influence sensiblement sa perception dans le système expérimental (Davik et Slovic 2003 ; Frewer 2004), c'est la banalisation du risque dans le milieu agricole qui conduit à son acceptation. Comme cela est décrit dans le Tableau 19, dans le système analytique l'expérience, vécue face au risque, est un déterminant de sa perception.

Il n'apparaît pas nécessaire d'avoir une expérience préalable d'un risque pour percevoir ce risque. Lorsqu'un individu n'a jamais été confronté directement à un risque, c'est la communication, les informations ou l'éducation qui forment la perception du risque (Davik et Slovic 2003 ; Slovic et Peters 2006 ; Slovic, Finucane *et al.* 2007). Or la communication sur le risque joue un rôle majeur dans l'acceptation : pour un même risque, un argumentaire peut aboutir à un rejet ou une acceptation de celui-ci en fonction du sens des messages développés. Dans le monde agricole, le processus analytique permet d'évaluer le risque réel, scientifiquement étayé et applicable aux produits phytopharmaceutiques (US-EPA 1987, 2007). Les études disponibles sur le risque sanitaire des produits phytopharmaceutiques s'appuient sur une démarche scientifique, à la méthodologie définie et décrite et proposent des résultats chiffrés et vérifiables. L'aspect analytique est important car il est à l'origine de l'évaluation étape par étape du processus d'évaluation de la toxicité des produits phytopharmaceutiques. Dans les études, les facteurs analysés sont une partie de ce processus global : certaines études portent sur l'impact de la forme des produits ou des solvants sur l'exposition (Mann et Bidwell 1999 ; Benachour et Séralini 2009), d'autres se focalisent sur un type de culture (Hughes, Flores *et al.* 2008), d'autres encore sur la classe des produits utilisés ou sur le rôle des équipements de protection (Dosemeci, Alavanja *et al.* 2002 ; Zainal et Que Hee 2003).

La suite de ce travail portera sur la confrontation entre le risque réel et le risque perçu et la méthode développée pour y parvenir, et ses conséquences sur l'exposition des agriculteurs aux produits phytopharmaceutiques.

Conclusion

L'exposition aux produits phytopharmaceutiques dépend de nombreux paramètres techniques (doses, surface traitée, type de matériel de pulvérisation, forme des produits...). Les mesures de prévention et les formations, telles que le Certiphyto, se focalisent sur ces paramètres, techniques et concrets, et ne prennent pas en compte l'impact des comportements liés à la perception du risque sur le processus d'exposition. L'acceptation ou le rejet du risque sont influencés par le sens et l'orientation des différents facteurs de la perception d'un danger. Ces travaux montrent le caractère expérimental de la perception, c'est à dire une approche basée sur des paramètres humains, sans relation directe avec une analyse du risque réel. Les mécanismes d'évaluation du risque perçu s'opposent à ceux du risque réel, évalué scientifiquement.

La quatrième partie de ce travail a pour objectif d'évaluer le rôle de la perception et sa place au côté des paramètres concrets précédemment développés.

Quatrième Partie : Matériels et méthodes

4.1 Méthode d'évaluation de la perception du risque

L'un des objectifs de cette thèse est de comparer le risque perçu avec le risque réel pour évaluer la pertinence de la perception. Pour y parvenir, ce travail propose de déterminer quels sont les facteurs de la perception du risque ayant le plus d'influence sur le mode de travail et le fonctionnement des pratiques des agriculteurs.

La Figure 11 propose 4 scénarii qui seront vérifiés sur le terrain afin de quantifier le rôle de la perception :

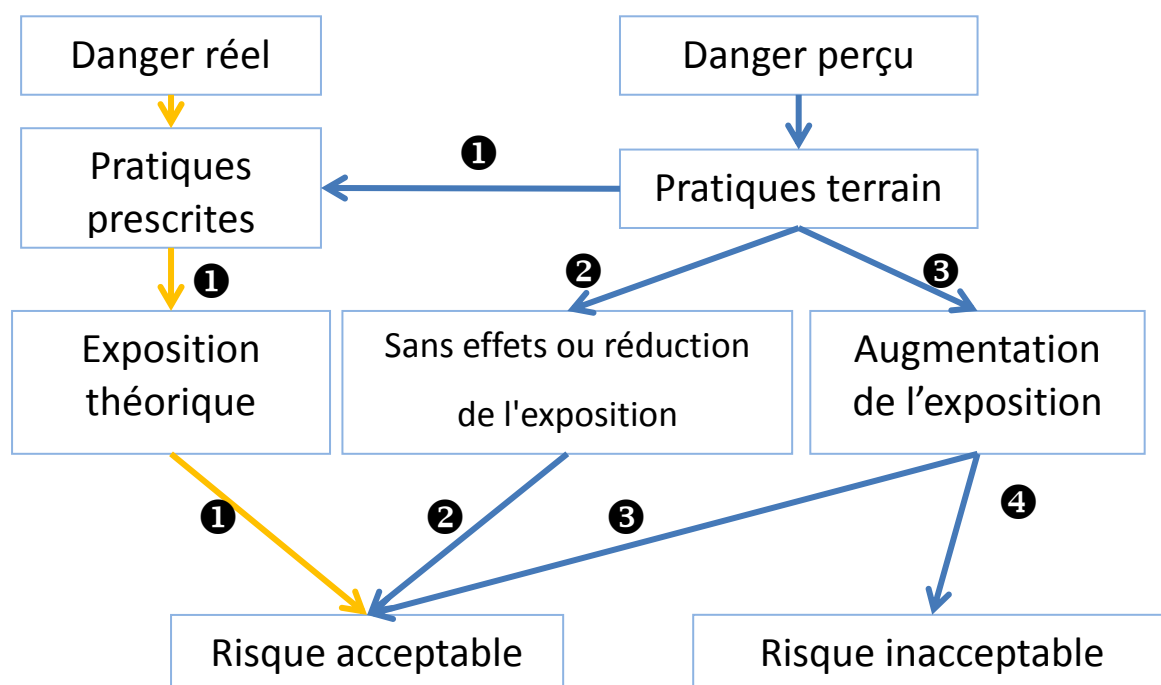


Figure 11 : Processus général d'évaluation du risque perçu et du risque réel.

Les flèches en orange de la Figure 11 symbolisent le processus tel qu'il est évalué lors de l'autorisation de mise sur le marché. Comme cela a été décrit dans la partie sur l'AMM, les études d'exposition sont faites en se basant sur la bonne pratique agricole. Le risque est acceptable puisque la substance a réussi les essais d'expologie dans le processus d'AMM. Sur le terrain, les pratiques agricoles passent par le filtre de la perception du risque et l'objectif est de déterminer comment cette perception dévie les pratiques agricoles des bonnes pratiques.

Quatre scénarios notés 1, 2, 3 et 4 sur la figure sont proposés dans le but de répondre à l'objectif :

Scénario 1 : l'agriculteur a des pratiques strictement identiques à celles prescrites. Le risque est donc acceptable et la perception n'a aucune influence sur son travail.

Scénario 2 : la perception n'a aucune influence sur le risque sanitaire, bien que cela joue sur les pratiques de l'agriculteur. Cela signifie que les pratiques observées sur le terrain ne sont pas influencées par la perception du risque qu'ont les agriculteurs des produits phytopharmaceutiques qu'ils utilisent. Les différents niveaux d'exposition observés dépendent de différents facteurs (temps de traitement, fréquence, matériel employé...), mais pas de la perception.

Scénario 3 : L'exposition est augmentée, comparativement à l'AOEL, par les pratiques en lien avec la perception, cependant les conséquences sanitaires restent acceptables.

Scénario 4 : la perception du danger influe sur des pratiques qui favorisent l'exposition. Cette modification de l'exposition augmente le risque sanitaire qui en devient inacceptable.

Ces scénarios seront vérifiés par des observations et des enquêtes sur le terrain.

Support à l'évaluation de la perception

Pour évaluer le danger perçu et les pratiques sur le terrain, des observations et des entretiens auprès d'agriculteurs ont été réalisés. Ce chapitre porte sur le développement de la méthodologie d'évaluation de l'exposition influencée par la perception. Cela correspond à l'évaluation des cases en bleues dans la Figure 11.

Le choix a été fait de réaliser des entretiens individuels auprès d'agriculteurs sur leur perception du risque (Boissonnot et Grimbuhler 2012a).

Objectifs des entretiens

Les entretiens ont pour objectifs de :

- Vérifier les théories sur la perception du risque, et en particulier les facteurs d'acceptation du risque sanitaire.

-Déterminer quels sont les facteurs de la perception du risque et leur importance auprès d'agriculteurs.

- Déterminer l'importance de chaque facteur sur la perception du risque

- Relever les pratiques agricoles de l'opérateur en rapport avec sa perception du risque. Déterminer comment il se protège, ce qui est mis en place pour réduire le risque, quelles sont ses stratégies des traitements et quelle est la place de la réduction du risque sanitaire dans le processus du traitement

- Créer une base de données viable concernant la perception du risque et les pratiques de sécurité dans le but d'utiliser ces résultats pour des mesures sur le terrain ou des modélisations.

Le choix d'effectuer les entretiens sur le terrain est motivé par la sensibilité du sujet abordé : parler du risque lié à son métier est délicat et il est nécessaire d'instaurer une relation de confiance avec l'agriculteur afin qu'il puisse répondre ouvertement aux questions. L'approche par téléphone aurait pu se révéler contre-productive : les agriculteurs étant beaucoup sollicités par des démarcheurs commerciaux, refusent souvent de répondre. Se déplacer sur le terrain pour observer et discuter de leurs pratiques et de leurs métiers instaure un climat plus propice pour aborder le sujet du risque phytosanitaire. Par ailleurs, l'envoi de questionnaires par courrier n'a pas été retenu dans la mesure où le taux de retour de ce type d'approche est faible. De plus, les réponses sont limitées au cadre des questions alors que de nombreuses informations sur le ressenti et la perception du risque peuvent être données par l'agriculteur en marge du questionnaire lors de l'entretien.

Élaboration du questionnaire

Un questionnaire est conçu afin de pouvoir exploiter les résultats des entretiens. Ce questionnaire a été élaboré dans le but de :

-Servir de support à des entretiens sur le terrain, pour diriger l'entretien en relançant l'agriculteur sur différents sujets à propos de sa pratique agricole et de sa perception du risque.

-Formuler les questions de manière neutre afin de ne pas influencer les réponses. Il ne s'agit pas de juger les réponses des agriculteurs mais de collecter leur ressenti face au risque.

-Concevoir des questions ouvertes et laisser l'agriculteur s'exprimer sur le risque sans limiter ses possibilités de réponse à un questionnaire à choix multiple.

Chaque entretien étant différent, les résultats du questionnaire serviront à analyser les données en comparant directement les réponses à chaque question.

Méthodologie du développement du questionnaire :

Ce questionnaire de 52 items se base sur les travaux de la DRASS de Bretagne qui a étudié la perception du risque chez les utilisateurs de produits phytopharmaceutiques (URCAM et DRASS 2003 ; Nicourt et Girault 2009), les enquêtes de l'Agricultural Heath Study (Alavanja, Sandler *et al.* 1996). Les questions sont complétées et adaptées au milieu agricole français grâce au rapport du Cemagref et de l'INRA sur les produits phytopharmaceutiques, l'agriculture et l'environnement (Aubertot 2005).

Ce questionnaire, précisé en Annexe III, est divisé en trois parties. Il est intégralement disponible en Annexe II.

Partie I

Composée de 20 questions, cette partie a pour but de connaître l'agriculteur et ses pratiques agricoles. Les questions portent sur son niveau de formation, la taille de son exploitation, le nombre de traitements annuels, le nombre d'années d'expérience ou encore son statut au sein de l'exploitation. Cette partie a un double objectif : générer différents profils d'agriculteurs pouvant servir à l'analyse des résultats et engager la discussion par un sujet que l'agriculteur maîtrise, sur lequel il se sent à l'aise et valorisé. Cette partie sert de mise en confiance avant d'engager les questions sur le risque phytosanitaire plus anxiogène. La transition vers le risque perçu passe par des questions sur les pratiques de sécurité, avec notamment des questions sur le respect du port des équipements de protection, des doses utilisées et des itinéraires techniques déployés lors de l'usage des produits phytopharmaceutiques.

Partie II

La deuxième partie du questionnaire, à partir de la question 21, concerne la perception du risque proprement dite. Dans cette partie des questions sur les conséquences sanitaires craintes par les agriculteurs sont posées. Celles-ci portent sur l'importance accordée à des signaux extérieurs tels que l'odeur ou le type de produits phytopharmaceutiques employés

pour évaluer le risque. Ces questions ont pour but d'analyser le rôle et l'importance des stimuli externes dans la perception du risque vis-à-vis des produits employés. Cette partie est la plus longue et la plus complexe car les questions doivent permettre de valider les théories sur la perception du risque sans influencer l'agriculteur dans ses réponses. Pour ce faire, le questionnaire se base sur les travaux de perception du risque en monde agricole et sur les théories de perception du risque. Cette partie se compose de 10 questions sur le danger perçu par les agriculteurs.


L'utilisation d'un système de notation a été retenue pour les questions sur les craintes sanitaires redoutées sur le long terme. Il est demandé à l'agriculteur de noter de 0 à 10 les craintes liées aux produits phytopharmaceutiques sur le développement de plusieurs pathologies proposées. L'utilisation d'une échelle de mesure a pour but de pouvoir faire des comparaisons entre les risques et les pathologies redoutées.

Exemple :

Plusieurs pathologies de gravités variables sont proposées aux agriculteurs. Le système de notation permet donc comparer le niveau de crainte pour chacune d'elles. La Figure 12 reprend la question 34 du questionnaire avec un système de notation sur 10 :

34/ Quelles conséquences redoutez-vous sur le long terme de l'usage des pesticides ?
Placer une croix sur le repère en fonction de votre ressenti

a. Problèmes dermatologiques



b. Problèmes digestifs




Figure 12 : Exemple de question posée avec échelle de notation

Partie III

La dernière partie du questionnaire porte sur les sources d'informations concernant les risques auxquels l'agriculteur est exposé. Cette troisième partie est proposée car sa perception se base sur les informations de son environnement. Cela reprend les travaux de Slovic (Slovic 1987 ; Slovic et Peters 2006 ; Slovic, Finucane *et al.* 2007) sur la perception du risque et l'importance de la communication dans la perception du risque abordée en partie I. Cette partie du

questionnaire doit permettre de connaître les sources d'informations auxquelles l'agriculteur est le plus sensible, et les sources où il cherche spontanément des informations sur le risque sanitaire, et les vecteurs de la communication sur le risque dans lesquels l'agriculteur a le plus confiance.

Cette partie doit permettre de déterminer par qui, comment et sous quelle forme véhiculer l'information et communiquer sur le risque sanitaire afin d'atteindre l'agriculteur.

Le questionnaire se termine par une question permettant à l'agriculteur d'exprimer son sentiment sur le questionnaire et les stratégies à développer dans l'avenir pour réduire le risque.

La dernière question propose une liste non exhaustive d'initiatives à prendre dans le futur pour améliorer davantage la sécurité. Différents choix sont proposés et concernent le matériel (meilleurs pulvérisateurs, équipements de protection plus confortables) les produits phytopharmaceutiques (développer des produits moins toxiques, nouvelles formes moins exposantes), les agriculteurs eux-mêmes (amélioration des pratiques, respect des doses). Cette question ouverte doit permettre de continuer le débat sur la sécurité des produits phytopharmaceutiques et permettre connaître les attentes des agriculteurs en matière d'amélioration des pratiques de sécurité.

4.2 Les enquêtes

Les enquêtes ont été menées parallèlement à un projet d'amélioration du pulvérisateur utilisé pour les traitements. L'approche par l'aspect matériel (ici le pulvérisateur) a servi d'introduction à la partie sur la perception du risque, puisque les premières questions portent sur le matériel employé par l'opérateur.

Les entretiens se déroulent de la façon suivante :

À l'arrivée est faite une présentation des travaux menés par Irstea. La plupart des agriculteurs étant peu informés sur l'objectif précis de la visite, la présentation des travaux (en insistant sur l'anonymat des réponses) et de l'aspect recherche de ce travail. Dans un deuxième temps, la partie sur l'observation du pulvérisateur est réalisée. Un questionnaire, établi par un ergonome d'Irstea, sert de support à l'entretien. Dans cette partie, quelques informations sur le risque sont évoquées par les viticulteurs.

Dans un troisième temps, l'entretien sur le risque est abordé avec le viticulteur. Les premières informations sur le risque, apportées spontanément lors de la partie sur le pulvérisateur, sont reprises au début du questionnaire afin de faciliter la transition et permettre au viticulteur de confirmer sa réponse et souvent de la compléter. Durant les entretiens est rappelé fréquemment qu'il n'y a pas dans le questionnaire de bonnes ou mauvaises réponses et que seul le ressenti est évalué. Ceci afin d'éviter que l'agriculteur pense être jugé et ne donne que des réponses « attendues » en désaccord avec ses pratiques. L'évitement des biais d'interprétation, tant dans les questions que dans les réponses est constamment recherché.

Environ deux heures sont consacrées à chaque agriculteur ce qui permet de répondre sans contrainte de temps aux questions.

Retours d'expérience et modification du questionnaire :

Peu de modifications de fond ont dû être effectuées à la suite des premiers entretiens. Les questions ont toutes été comprises par les participants et il n'y a pas eu de hors sujet dans les réponses. Quelques modifications de forme ont cependant été faites après les premiers entretiens :

-Les termes techniques (hors du champ professionnel des agriculteurs) et médicaux sont utilisés dans le questionnaire par souci de rigueur scientifique. Ceux-ci ont rapidement été remplacés par des termes généraux mieux compris du grand public (exemple « maladies neurodégénératives » vulgarisé par « problèmes au cerveau », « troubles musculo-squelettiques » par « douleur aux muscles et articulations »). Le danger et le risque sont aussi rapidement apparus comme des termes identiques pour les agriculteurs en opposition à leur signification en évaluation des risques. Les réponses des agriculteurs parlant de danger ou de risque ont été traitées comme identiques pour ces deux termes. La notion d'exposition est intégrée par l'agriculteur qu'il parle de risque ou de danger.

Sélection de la population cible

Sélection par la fréquence d'usage des produits phytopharmaceutiques

La fréquence d'utilisation des produits phytopharmaceutiques est un critère déterminant sur l'exposition des agriculteurs. L'identification des cultures les plus utilisatrices de produits est un des critères de sélection de la population cible à étudier. L'Agreste fournit des informations qui concernent le nombre de passages annuels et de traitements en fonction des cultures présentées dans le Tableau 20.

Tableau 20 : Nombre moyen de traitements et de passages annuels selon les types de culture
(Agreste 2008, 2009)

<i>Type de culture</i>	Type	Nombre moyens de traitements	Nombre moyen de passages
<i>Blé tendre</i>	E	6,31	4,65
<i>Blé dur</i>	E	4,11	3,3
<i>Orge</i>	E	5,77	4,11
<i>Maïs</i>	E	3,25	2,18
<i>Colza</i>	E	7,33	6,67
<i>Tournesol</i>	E	2,81	2,38
<i>Pois</i>	E	6,74	5,56
<i>Betterave</i>	E	15,6	6,48
<i>Pomme de terre</i>	E	19,13	17,19
<i>Vignes</i>	H	2	2
	F	11	7
	I	2	2

E : Ensemble des produits phytopharmaceutiques ; H : Herbicides ; I : Insecticides ; F : Fongicides

Le blé est une culture particulièrement utilisatrice de grande quantité de produits phytopharmaceutiques. Cependant, le nombre de passages de produit chaque année est faible comparé à d'autres cultures.

Le Tableau 20 indique le nombre moyen de traitements et de passages de produits phytopharmaceutiques sur différents types de culture. Pour le blé tendre c'est 6,31 traitements et 4,65 passages par an, tous produits confondus. Comparativement, pour la viticulture ce sont en moyenne 15 traitements et 11 passages annuels qui sont pratiqués (avec un pic pour la région productrice de champagne avec 19 traitements et 11 passages par an) (Agreste 2009). En viticulture, les fongicides représentent 80 % des produits phytopharmaceutiques utilisés (INRA et Cemagref. 2005). La betterave et la pomme de terre sont aussi des cultures particulièrement concernées par le nombre de traitements et de passages chaque année.

Sélection par l'utilisation des produits les plus dangereux

La sélection s'est faite par les Itinéraires Techniques (IT). Ce sont des plans de traitements à appliquer aux plantes selon la pression fongique, l'état de la plante et les différentes périodes dans l'année. Ces IT sont proposés par les firmes, les techniciens conseils des agriculteurs (coopératives, grossistes etc...) ou sont construits par les agriculteurs eux-mêmes qui établissent leurs plans de traitements.

Cette approche s'est révélée peu pertinente. Les IT fournis par les firmes se basent exclusivement sur les produits qu'ils commercialisent et se limitent à leur catalogue, rendant ceux-ci peu représentatifs de la pratique agricole à l'échelle nationale. Les IT fournies par les coopératives sont aussi biaisées : ces IT sont propres aux conditions climatiques des régions où officient les coopératives et celles-ci travaillent avec un ou deux fournisseurs, eux-mêmes dépendant des fabricants. Les produits disponibles dans chaque coopérative sont donc différents et leurs IT ne sont pas représentatifs des pratiques à l'échelle nationale.

L'objectif de la sélection étant d'être juste et efficace, le choix a été fait de retenir les données de l'Agreste sur l'usage des produits phytopharmaceutiques en agriculture.

-Analyser les substances actives autorisées en analysant les données de l'AMM. Avec ces données, en les recoupant avec les conditions d'utilisation (doses, nombre de traitements maximum autorisés chaque année, cultures autorisées...), il est possible de créer une liste de produits phytopharmaceutiques les plus utilisés selon les cultures.

Le choix retenu est l'utilisation des données de l'Agreste concernant les itinéraires techniques en agriculture. L'Agreste étant un organisme d'état indépendant, ses données sont neutres et ses enquêtes de terrain assurent une représentativité des pratiques agricoles.

La viticulture est la seule culture ayant fait l'objet d'une enquête détaillée sur les pratiques culturales par l'Agreste (Agreste 2009). Grâce à ce rapport, des données précises sur l'utilisation des produits phytopharmaceutiques en viticulture sont disponibles, synthétisées dans le Tableau 12.

Tableau 21 : Substances utilisées en viticulture et leurs statuts carcinogéniques selon l'OMS et l'US-EPA

<i>Substance active</i>	<i>Action</i>	Fréquence d'utilisation	Classification	
		<i>(% des surfaces)</i>	<i>US-EPA</i>	<i>OMS</i>
<i>Glyphosate (sel d'isopropylamine)</i>	<i>Herbicide</i>	70		
<i>Folpel ou Folpet</i>	<i>Fongicide</i>	68	<i>B2, Probable</i>	
<i>Soufre micronisé</i>	<i>Fongicide</i>	56		
<i>Phosétyl-aluminium</i>	<i>Fongicide</i>	53		
<i>Mancozèbe</i>	<i>Fongicide</i>	51	<i>B2, Probable</i>	
<i>Cymoxanil</i>	<i>Fongicide</i>	43		
<i>Tébuconazole</i>	<i>Fongicide</i>	37	<i>C, Possible</i>	<i>2B</i>
<i>Metirame-zinc</i>	<i>Fongicide</i>	36	<i>B2, Probable</i>	
<i>Sulfate de cuivre</i>	<i>Fongicide</i>	35		
<i>Chlorpyrifos</i>	<i>Insecticide Acaricide</i>	27		
<i>Cuivre de l'hydroxyde de cuivre</i>	<i>Fongicide</i>	27		
<i>Dinocap</i>	<i>Fongicide</i>	26		
<i>Diméthomorphe</i>	<i>Fongicide</i>	25		
<i>Flufénoxuron</i>	<i>Insecticide, acaricide</i>	25		
<i>Myclobutanil</i>	<i>Fongicide</i>	24		
<i>Spiroxamine</i>	<i>Fongicide</i>	23		
<i>Cuivre de l'oxychlorure de cuivre</i>	<i>Fongicide</i>	22		
<i>Diuron</i>	<i>Herbicide</i>	21		
<i>Quinoxifène</i>	<i>Fongicide</i>	20		
<i>Aminotriazole</i>	<i>Herbicide</i>	20	<i>Likely</i>	<i>2B - 3</i>

Sur ces vingt produits phytopharmaceutiques, quinze sont des fongicides. Pour affiner encore la liste des produits phytopharmaceutiques d'intérêt sanitaire, les données de l'Agreste présentées dans ce tableau ont été recoupées avec la liste des produits phytopharmaceutiques présentant un intérêt sanitaire (liste disponible en Annexe V). Cinq produits

phytopharmaceutiques sont classés comme cancérigènes possibles ou probables par l'US-EPA.

Tableau 22 : VTR sans seuil de cinq produits phytopharmaceutiques retenus pour l'évaluation des risques

<i>Substances</i>	Classification		VTR
	US-EPA	OMS	
<i>Folpel</i>	B2, Probable		0,1 mg kg ⁻¹ j ⁻¹
<i>Mancozèbe</i>	B2, Probable		0,035 mg kg ⁻¹ j ⁻¹
<i>Tébuconazole</i>	C, Possible	2B	0,03 mg kg ⁻¹ j ⁻¹
<i>Metirame-zinc</i>	B2, Probable		0,016 mg kg ⁻¹ j ⁻¹
<i>Aminotriazole</i>	Likely	2B - 3	0,001 mg kg ⁻¹ j ⁻¹

Conformément aux prérequis de l'AMM chaque produit phytopharmaceutique possède une AOEL. Cette liste de cinq substances constitue une présélection qui sert de base pour la suite des travaux.

4.3 Évaluation de l'influence de la perception sur l'exposition

L'évaluation de l'exposition consiste à mesurer l'exposition des agriculteurs aux produits phytopharmaceutiques lors de leur utilisation. Dans cette thèse, deux approches sont retenues pour évaluer l'exposition des agriculteurs aux produits phytopharmaceutiques en lien avec la perception du risque : la modélisation et les mesures de l'exposition.

4.3.1 Modélisation de l'exposition

Des modélisations sont effectuées par les laboratoires qui mettent sur le marché les produits phytopharmaceutiques dans le cadre du dossier d'AMM. Dans ce cas, les modèles sont programmés en fonction des bonnes pratiques agricoles. Dès lors qu'un produit phytopharmaceutique est autorisé sur le marché, cela signifie que l'exposition au produit phytopharmaceutique lors de son utilisation est acceptable.

Les modèles sont cependant paramétrables et l'idée est ici de modifier les paramètres influencés par la perception du risque afin d'observer ou non des différences d'exposition. Ces modélisations servent de lien entre le risque réel et le risque perçu.

4.3.1.1 Objectif des modélisations

La modélisation de l'exposition aux produits phytopharmaceutiques doit permettre de déterminer les niveaux d'exposition des viticulteurs aux produits phytopharmaceutiques selon les différentes pratiques observées lors des entretiens. Ces résultats d'exposition seront ensuite utilisés pour réaliser une évaluation de risque sanitaire. Ces modélisations doivent permettre de comparer le risque réel avec le risque perçu en évaluant les expositions influencées par les pratiques prescrites (les bonnes pratiques) et celles sous l'influence de la perception pour observer un écart potentiel d'exposition entre pratiques prescrites et réelles.

4.3.1.2 Matériel et méthode des modélisations

Deux modèles sont utilisés dans la procédure de mise sur le marché pour estimer l'exposition des utilisateurs aux produits phytopharmaceutiques : les modèles UK-POEM (UK-Pesticide Operator Exposure Model) et BBA (modèle du Federal Biological Research Centre for Agriculture et Forestry (Biologische Bundesanstalt für Land- und Forstwirtschaft, BBA)). Utilisés comme référence lors des AMM, ces modèles sont réutilisés ici pour l'évaluation des risques.

Ces deux modèles se présentent sous la forme de fichiers Excel où différents paramètres peuvent être modifiés pour les simulations. Le résultat de la simulation est une valeur d'exposition totale de l'agriculteur pour la substance étudiée. Ce résultat est exprimé en $\text{mg.kg}^{-1} \text{ pc.j}^{-1}$ et se présente sous la même forme que les valeurs toxicologiques de référence (VTR), permettant de réaliser facilement une EQRS par la suite.

Les deux modèles ont des structures différentes et chaque modèle a ses avantages et inconvénients. Les critères les plus importants dans le choix du modèle, en rapport avec les besoins de la thèse, sont les suivants :

- Possibilité de paramétrer le port des EPI lors des différentes étapes du traitement : Le modèle allemand permet de paramétrer finement le port des EPI en fonction des différentes étapes du traitement.
- Les caractéristiques des surfaces traitées et du temps de traitement. Chaque modèle permet de sélectionner le matériel utilisé lors de la pulvérisation prenant en compte la surface traitée par le matériel sélectionné. Le matériel employé en viticulture sera sélectionné dans les modèles.

4.3.1.3 Discussion sur les modèles et la méthode

Ces modélisations sont rapides, peu coûteuses, les résultats sont reproductibles et l'utilisation de modèles officiels utilisés dans la procédure d'AMM permet une comparaison directe des résultats.

Les modèles souffrent cependant de plusieurs lacunes :

- Le choix limité des formes des produits phytopharmaceutiques. De nouvelles formes sont apparues avec notamment les sachets hydrosolubles. Sur le terrain, lors de la dissolution des poches, certains produits se comportent comme des poudres.
- Le choix du matériel de pulvérisation est limité dans les modèles. D'autres matériels sont disponibles, et notamment les pulvérisateurs aéroportés à voute droite. Ce sont des dérivés de pulvérisateurs aéroportés utilisés en arboriculture dont la voûte de pulvérisation est modifiée pour être utilisable en viticulture. Ce genre de matériel est fréquemment rencontré en viticulture.
- Concernant l'usage des EPI, ceux-ci sont considérés comme neufs. Sur le terrain, la réutilisation d'EPI à usage unique est une possibilité. Les modèles se limitent au tout ou rien concernant l'usage des EPI.

4.3.2 Mesure de l'exposition

Les mesures d'exposition sont faites chez des agriculteurs utilisateurs de produits phytopharmaceutiques présentant un intérêt sanitaire. Ces mesures d'exposition sont complémentaires des modélisations.

4.3.2.1 Objectifs

Les prélèvements ont pour objectifs :

- De caractériser le risque lié à l'usage de produits phytopharmaceutiques chez les agriculteurs par des cas concrets
- De comparer les expositions réelles avec celle modélisées.
- De valider la méthode développée.
- De réaliser une évaluation sanitaire de risque complète, de l'identification des dangers à la caractérisation du risque.

L'objectif final est de caractériser le rôle de la perception sur les pratiques. Ce rôle sera matérialisé par les différents niveaux d'expositions observés sur le terrain.

4.3.2.2 Choix de la méthode de prélèvement

Dans le chapitre sur l'exposition des agriculteurs aux produits phytopharmaceutiques, plusieurs méthodes de prélèvements des produits phytopharmaceutiques sont proposées.

Parmi ces méthodes, celles retenues pour l'étude est l'essuyage des mains par l'usage de compresses imbibées d'alcool puisque les mains représentent 90 % du total de l'exposition aux produits phytopharmaceutiques par voie dermique chez les agriculteurs (Fenske 1993 ; Vermeulen, Stewart *et al.* 2002 ; Fenske 2005). Dans le cas présent, le biomonitoring, pourtant couramment utilisé dans les études en milieu agricole (Angerer, Ewers *et al.* 2007 ; Needham, Calafat *et al.* 2007), n'est pas retenu car il ne permet pas de remonter à la dose externe, dose dont la connaissance est nécessaire pour quantifier et caractériser le risque (US-EPA 1987, 1988, 1992). De plus, la peau a sa propre pharmacocinétique jouant un rôle de rétention important capable de fausser les mesures d'exposition si celles-ci ne sont pas réalisées immédiatement après l'exposition (Berthet, Bouchard *et al.* 2011).

Plusieurs techniques sont disponibles pour le lavage des mains (Fenske 2005 ; Ashley, Brisson *et al.* 2011) :

Le trempage des mains

La procédure consiste à tremper ses mains dans un sachet contenant un solvant pour y récupérer les produits phytopharmaceutiques, cette procédure nécessite cependant de grandes quantités de solvants et une logistique peu adaptée aux prélèvements sur de multiples sites, et présente des taux faibles de récupération de produits (Fenske, Schulter *et al.* 1998).

L'utilisation de gants ou de sous-gants en coton

Cette méthode permet de récupérer les produits phytopharmaceutiques déposés sur des gants. Ces gants sont ensuite analysés. Cette technique n'est pas pertinente pour ce travail car elle fait appel à des équipements qui pourraient être perçus comme protecteurs de la part des agriculteurs. Le rôle des EPI et de leur utilisation en fonction de la perception étant l'un des objectifs de ce travail, imposer le port de gants à des agriculteurs qui n'en portent pas habituellement introduit un biais.

L'essuyage des mains par des compresses

Cette méthode fait appel à des compresses imbibées d'un solvant et utilisé pour récupérer les produits phytopharmaceutiques sur les mains par essuyage de la peau (Fenske 1993 ; Brouwer, Boeniger *et al.* 2000). Cette méthode présente l'avantage de recourir à peu de solvants, permettant un transport facile du matériel nécessaire aux prélèvements sur le terrain. La méthode de prélèvement par essuyage des mains est retenue pour cette étude.

4.3.2.3 Choix du solvant

Des études se focalisent sur l'efficacité de certains solvants pour la récupération des produits sur la peau (Brouwer, Boeniger *et al.* 2000 ; Campbell, Smith *et al.* 2000). L'isopropanol est le meilleur solvant à utiliser pour prélever des substances chimiques sur la peau humaine. Peu coûteux, compatible avec les méthodes d'analyses, c'est le solvant donnant les meilleurs résultats de récupération (à l'exception des composés hydrophiles comme le glyphosate). Il est peu irritant et peu toxique pour l'homme (Fenske 1990 ; Geno, Camann *et al.* 1996 ; Fenske, Schulter *et al.* 1998 ; Brouwer, Boeniger *et al.* 2000 ; Campbell, Smith *et al.* 2000).

4.3.2.4 Limites et incertitudes concernant les prélèvements

Il n'existe pas de protocole standardisé pour les techniques d'essuyage des mains auprès de l'OMS ou de l'OCDE (Fenske 2005). Une revue bibliographique sur les méthodes de dosage est réalisée afin de déterminer quelle est la méthode de prélèvement du folpel sur la peau la plus adaptée.

Brouwer *et al.* (Brouwer, Boeniger *et al.* 2000) recensent plusieurs études de laboratoire sur l'efficacité de récupération des solvants et des méthodes de prélèvements de produits chimiques sur la peau. Pour les produits phytopharmaceutiques, plusieurs études portant sur différentes substances indiquent une efficacité de récupération sur les mains, par la méthode d'essuyages, proche de 50 % en moyenne (Geno, Camann *et al.* 1996 ; Brouwer, Boeniger *et al.* 2000 ; Campbell, Smith *et al.* 2000).

L'étude de Geno *et al.* est la seule disponible portant sur les capacités de récupération du folpel sur la peau par essuyage des mains (Geno, Camann *et al.* 1996). Cette étude inclut un ensemble de produits phytopharmaceutiques, mais ce n'est pas non plus une étude de terrain. Pour certains produits phytopharmaceutiques comme le folpel, Geno *et al.* (1996) obtiennent un taux de récupération de près de 100 %. Cette étude est à considérer comme le « meilleur-cas » pour l'analyse, puisque les essais sont réalisés immédiatement après avoir déposé le produit phytopharmaceutique sur la peau et en laboratoire limitant la dégradation du produit (Fenske et Day 2005).

En 2005, Fenske *et al.* estiment que de nombreux efforts sont encore à faire pour améliorer les rendements des analyses, notamment sur le terrain Fenske *et al.* (2005). Les futures recherches devraient se concentrer sur les modèles pharmacocinétiques des produits

phytopharmaceutiques afin de pouvoir exploiter les résultats du biomonitoring encore actuellement limités à des constatations d'exposition ou pour de l'épidémiologie. En plus des différences d'efficacité entre l'analyse en laboratoire et sur le terrain, Fenske *et al.* (2005) ont aussi montré que le délai entre l'exposition et le prélèvement influence les résultats. Seuls 50 % de produits phytopharmaceutiques sont récupérés par la méthode d'essuyage des mains immédiatement après l'exposition, et ce taux chute à 25 % lorsque l'essuyage est réalisé une heure après l'exposition. De plus, le taux de récupération diminue avec l'augmentation des quantités déposées sur la peau. Fenske *et al.* (2005) concluent que les taux de récupération en laboratoire demeurent plus élevés que ceux sur le terrain et ceci est conforté par les travaux de Marquart *et al.* qui comparent l'efficacité des méthodes de prélèvement sur le terrain et en laboratoire (Marquart, Brouwer *et al.* 2003). Le taux de récupération demeure systématiquement supérieur pour les essais de laboratoire. D'après les résultats précédents, une sous-estimation de la mesure d'exposition sur le terrain de 50 % est vraisemblable, si le prélèvement est réalisé immédiatement après l'exposition.

4.3.2.5 Méthode de prélèvement

La méthode fait appel au lavage des mains par l'utilisation de compresses stériles de 7,5 cm par 7,5 cm. Elle s'inspire du protocole de Geno *et al.* (Geno, Camann *et al.* 1996). L'essuyage des mains est réalisé à l'aide de compresses de type chirurgical. Ces compresses non tissées sont celles utilisées pour les drainages, car plus absorbantes que celles tissées. Ces compresses sont vendues par deux dans un emballage stérile, ce qui les rend facilement utilisables sur le terrain. Pour un prélèvement de terrain, deux compresses sont nécessaires sans préparation préalable.

Le sachet de compresses est ouvert et les compresses sont ensuite imbibées de 10 mL d'isopropanol. Avec une compresse, l'agriculteur est invité à effectuer un essuyage général des mains (ou des gants s'il en porte). Ensuite, la compresse est placée dans un flacon en verre teinté de 60 mL, préalablement rincée à l'isopropanol, séchée et ensuite fermée par un bouchon en téflon. La seconde compresse est aussi imbibée par 10mL d'isopropanol et l'individu est appelé à s'essuyer les doigts individuellement et la paume de la main. La seconde compresse est ensuite placée avec la première. Le flacon est fermé et marqué pour le transport. Les flacons sont placés dans une glacière lors du transport, puis congelés à -18°C en attendant les analyses.

4.3.3 Les prélèvements chez les agriculteurs

L'objectif est d'observer la contamination à chaque étape du traitement. Pour chaque traitement, plusieurs prélèvements sont effectués

-Une mesure avant toute manipulation. L'agriculteur est invité à se laver les mains à l'eau et au savon puis, le prélèvement est réalisé sur les gants en nitriles neufs fournis, ou à même la peau s'il n'utilise pas d'EPI habituellement.

-Un prélèvement en fin du remplissage de la cuve. Sur les gants (si nécessaire) et la peau.

-Un prélèvement en fin du traitement. Sur les gants (si nécessaire) et la peau.

-Un prélèvement en fin du nettoyage. Sur les gants (si nécessaire) et la peau.

Le protocole est répété si plusieurs traitements ont lieu. En cas d'incidents durant le traitement, d'autres prélèvements peuvent être effectués.

À la fin de chaque traitement, un questionnaire est rempli, indiquant le type de produit employé, la surface traitée, les doses, le type d'EPI portés et les divers incidents observés lors du traitement. Une copie du questionnaire est disponible en annexe V.

Parallèlement à ces prélèvements sur les mains, des prélèvements dans les cabines des agriculteurs ont été réalisés. Pour l'ensemble des agriculteurs observés, lorsque cela a été possible, un prélèvement sur le volant et un autre sur les poignées ont été effectués avant et après chaque traitement. L'objectif est d'observer une éventuelle contamination des cabines lors des traitements, et plus particulièrement lors de la pulvérisation. La méthode de prélèvement est identique à celle pour les mains.

4.4 Sélection du produit phytopharmaceutique d'intérêt

Cette partie a pour objectif de présenter le produit phytopharmaceutique de référence pour l'étude.

4.4.1 Produit phytopharmaceutique retenu pour l'étude

Les critères de sélection du produit phytopharmaceutique à étudier sont les suivants :

- (1) Présenter un intérêt sanitaire,
- (2) Être perçu comme dangereux par les agriculteurs,
- (3) Être représentatif de l'activité agricole.

Le premier point est présenté dans la partie sur la sélection des produits phytopharmaceutiques présentant un intérêt sanitaire.

Pour rappel, le critère de danger retenu est l'effet cancérogène suspecté des substances.

Concernant le deuxième point, lors des entretiens, de nombreux produits phytopharmaceutiques ont été cités en réponse à la question portant sur les produits perçus comme dangereux. Les substances les plus fréquemment citées sont les insecticides, l'arsenic et certains produits phytopharmaceutiques odorants. Les produits phytopharmaceutiques désormais interdits n'ont pas été retenus dans ce travail puisque ces substances ne sont plus utilisées. Les insecticides, bien que fréquemment cités, ne sont pas pertinents d'un point de vue risque sanitaire : leur fréquence d'utilisation est faible comparativement aux fongicides (voir Tableau 21) et leur utilisation est variable selon les régions (parasites différents) n'en faisant pas des candidats représentatifs de l'activité viticole (point 3). Finalement, la liste des 5 substances présentant un intérêt sanitaire en viticulture (Tableau 22), a été recoupée avec les résultats des enquêtes. Celui-ci est utilisé sur près de 70 % des cultures viticole en France, il présente un caractère cancérogène probable (voir Annexe IV) et il est perçu comme dangereux par les agriculteurs. La suite de cette partie se focalise sur les données concernant ce produit phytopharmaceutique.

Choix par la Valeur Toxicologique de Référence :

La présence d'une VTR sans seuil utilisable pour caractériser le risque a aussi été un critère de sélection. Toujours dans l'objectif de justifier les choix, la recherche de VTR a porté sur les cinq produits phytopharmaceutiques de la présélection présentés Tableau 22.

La démarche suivante est réalisée pour sélectionner la VTR à utiliser dans ce travail :

1/ Dans un premier temps, une VTR est recherchée au sein des bases de données à travers le moteur de recherche Furetox, un moteur de recherche de VTR, compilant plusieurs bases de données en ligne.

2/ Recherche de l'effet critique nécessaire pour qualifier le risque. Les études ayant servi à générer les valeurs toxicologiques indiquent quels types d'effets ont pu être observés lors de l'administration des substances. Ces effets critiques ne sont pas toujours disponibles ou indiqués sur les bases de données concernant les produits phytopharmaceutiques (par exemple, Agritox indique les AOEL mais ne donne pas l'effet critique).

3/ Les fiches IRIS et EFSA sont recherchées pour déterminer la présence de valeurs toxicologiques et d'effet critique. Il est difficile de connaître l'effet critique pour une valeur toxicologique donnée. Les fiches IRIS et EFSA sont des résumés de plusieurs études. L'IRIS indique toujours l'étude et l'effet critique retenu pour la création de la VTR. L'EFSA indique aussi l'étude, mais ne cite pas toujours directement l'effet critique retenu. Si les effets critiques de l'IRIS et de l'EFSA sont identiques, cela indique une fiabilité accrue des résultats.

Concernant l'effet critique, celui retenu est le risque cancérigène. La suite de cette partie porte sur la sélection de la VTR sans seuil pour les produits phytopharmaceutiques retenus dans l'étude. Le Tableau 23 regroupe les résultats pour chaque molécule étudiée.

Tableau 23 : Produits phytopharmaceutiques d'intérêt sanitaire et leur VTR

<i>Molécule</i>	Sources (Furetox)	Fiche IRIS/Cancéro IRIS	NOAEL¹⁵	VTR	EQRS possible ?
<i>Folpel</i>	IRIS OEHHA	OUI/OUI	ADI/AOEL 0, mg.kg pc.j ⁻¹	Oral slope factor : $3,5 \times 10^{-3}$ mg kg ⁻¹ day	OUI Sur base IRIS
<i>Captane</i>	OEHHA	NON/NON	ADI/AOEL : 0, mg.kg pc.j ⁻¹ NOAEL Cancéro rats males : 61 mg.kg pc.j ⁻¹	Inhalation : 0,00000066 (μg/m ³) ⁻¹	OUI sur base EFSA, mais facteurs de sécurité à prévoir.
<i>Mancozèbe</i>	-	NON	0,035 mg.kg pc.j ⁻¹	-	NON
<i>Bouillie bordelaise</i>	-	-	0,5 mg kg ⁻¹ .j ⁻¹	-	NON
<i>Cymoxanil</i>	-	-	0,006 mg kg ⁻¹ .j ⁻¹	-	NON
<i>Indoxicabre</i>	-	-	0,006 mg kg ⁻¹ .j ⁻¹	-	NON
<i>Penconazole</i>	-	-	0,03 mg kg ⁻¹ .j ⁻¹	-	NON
<i>Tebuconazole</i>	-	-	0,03 mg kg ⁻¹ .j ⁻¹	-	NON

Peu de produits phytopharmaceutiques regroupent l'ensemble des données nécessaires pour être candidat à une EQRS. Le folpel est la substance recouvrant le maximum de données sur sa toxicologie.

Le folpel présente les caractéristiques suivantes qui en font un bon candidat pour l'EQRS :

1/ Le folpel est un produit largement utilisé en milieu viticole. Dès lors, il concerne un nombre important de viticulteurs.

2/ Le folpel présente un potentiel cancérigène probable chez l'Homme. Classé B2 « probablement cancérigène pour l'Homme », il est aussi classé par l'EFSA catégorie B3 impliquant la phrase de risque R40 sur le bidon. Ce critère de danger, réel et perçu, est essentiel pour évaluer l'impact de la perception sur le risque réel.

¹⁵ NOAEL, de l'anglais : No Observable Adverse Effect Level : Dose maximale sans effet néfaste observable (DMSENO).

De plus, la présence de la phrase de risque est importante, car elle conditionne une partie de la perception du risque. Beaucoup de viticulteurs se fiant aux phrases de risque pour évaluer la toxicité d'un produit et le folpel est le seul produit présentant une phrase de risque R40, qui soit utilisé en viticulture et dont la fiche IRIS est disponible. Le folpel est d'ailleurs souvent cité dans les enquêtes comme produit perçu comme dangereux pas les viticulteurs

3/ La présence d'une fiche de valeur toxicologique de référence. La fiche IRIS présente la section I.A et II.B, sections dont la présence est nécessaire à l'ERS sur les effets cancérogènes d'une substance.

4/ L'effet critique retenu pour la fiche IRIS et pour la fiche de l'EFSA est identique. Il s'agit de la présence de tumeurs du duodénum chez la souris. Dès lors, la VTR sans seuil du folpel peut être retenue pour l'ERS chez l'agriculteur. La fiche IRIS section IIB et le dossier EFSA sur l'AOEL sont proposés en Annexe VII.

4.4.2 Caractéristiques du produit phytopharmaceutique d'intérêt sanitaire

Le folpel étant retenu comme produit phytopharmaceutique de référence pour ce travail, une étude approfondie de cette substance est proposée.

Usage

Le folpel est un fongicide largement utilisé en viticulture dans le but de lutter contre le mildiou et l'oïdium. Le folpel s'utilise à raison de 1540 g.ha⁻¹ au maximum et le nombre de traitements est limité à 3 par an (ACTA 2013). A ce jour, 91 spécialités contenant du folpel sont commercialisées (e-Phy 2012¹⁶) et la majorité d'entre elles est à destination de la vigne mais ce produit phytopharmaceutique est aussi autorisé dans certaines spécialités sur le blé, la pomme de terre, en arboriculture, sur la laitue, l'orge et la tomate.

Les spores sensibles au folpel se développant avec un certain niveau d'hygrométrie, il est sans effet de traiter par temps sec. Le traitement est généralement réalisé à l'annonce d'une pluie pour détruire le maximum de spores et empêcher toute germination. Les traitements sont préventifs, car l'efficacité de ce fongicide est très faible une fois la parcelle infectée. C'est une

¹⁶<http://e-phy.agriculture.gouv.fr/> consulté en Juillet 2014

des raisons pour laquelle les agriculteurs sont très attentifs aux conditions météorologiques pour prévoir leurs traitements antifongiques.

Structure et réactivité

Le folpel fait partie de la famille des phtalimides, dont la structure chimique est représentée Figure 13 avec celle de deux autres produits phytopharmaceutiques de cette famille :

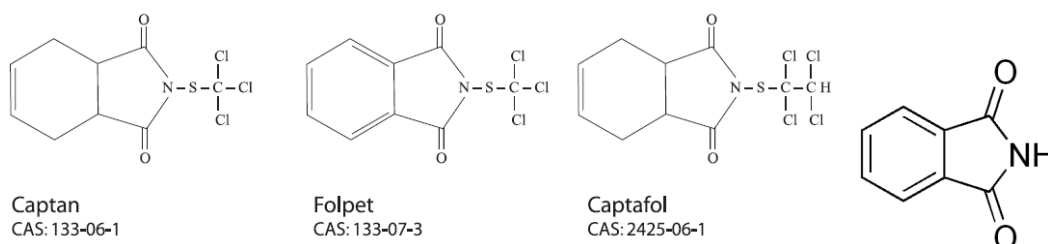


Figure 13 : structure chimique de 3 phtalimides et noyau phtalimide (à droite)

Les phtalimides sont des fongicides protecteurs agissant par contact avec le champignon. Dans leurs formes commerciales ces produits sont lessivables et nécessitent de traiter par temps sec juste avant les pluies. Leurs mécanismes d'action sont spécifiques aux formes sporulées.

Les fongicides de la classe des phtalimides se caractérisent par la présence d'un groupement $-S-CCl_3$ accolé à un noyau phtalimide. Le groupement $-S-CCl_3$ est responsable de l'efficacité des phtalimides comme antifongique. Très réactif, le groupement soufré possède une odeur caractéristique très importante influant sur la perception du risque qui sera détaillée dans ce chapitre sur la perception des risques.

Très peu de données existent quant au mécanisme d'action sur les champignons. D'après le rapport d'autorisation de commercialisation de l'US-EPA, le folpet est « *un fongicide de contact qui agit en dénaturant les protéines fongiques lorsque le groupement $-S-CCl_3$ du folpet¹⁷ réagit avec les protéines* » (US-EPA 1999). Les phtalimides sont peu efficaces sur la forme mycélium du champignon. L'action du folpet sur le champignon n'est possible que sur les spores car celles-ci sont perméables aux phtalimides. Le mécanisme d'action serait le suivant : l'hydrolyse détruit la liaison sulfure du phtalimide. Par la suite l'atome de soufre réagit avec les groupements thiols présents dans la spore donnant du thiophosgène. Celui-ci

¹⁷ Le folpet est plus fréquemment nommé folpet dans les autres pays du monde.

aurait la capacité de se lier aux protéines du champignon aboutissant à leur dénaturation et à la mort du champignon. Le rôle de l'imide n'est pas négligeable dans la toxicité pour le champignon puisque la vitesse d'hydrolyse dépend de la structure de l'imide et certains champignons ne sont sensibles qu'à un seul phtalimide alors que la réaction aboutissant au thiophosgène est identique pour ces 3 molécules (US-EPA 1993a, 1999 ; EFSA 2009b).

Données toxicologiques

Comme le folpel est très proche du captane, les articles portant sur le folpel sont souvent liés à ceux sur le captane. La base de données PAN indique que le folpel est classé comme cancérigène probable pour l'homme (catégorie B2) par l'US EPA, en revanche le CIRC n'a pas classé cette substance. Son potentiel tératogène a été démontré dès 1969 (Verrett, Mutchler *et al.* 1969) tout comme son potentiel cancérigène sur des cibles telles que le tractus gastro-intestinal ou le système lymphatique par exemple (Quest, Fenner-Crisp *et al.* 1993). Plus récemment l'effet de ce fongicide sur les cellules épithéliales des bronches a été étudié et le folpel serait responsable de peroxydations lipidiques, d'une production de dérivés oxygénés réactifs et de la mort cellulaire : effets typiques d'un stress oxydatif souvent à l'origine de cancers (Canal-Raffin, l'Azou *et al.* 2008). En 1986, une étude montre que le captane, le folpel et le captafol peuvent provoquer des cancers chez l'animal (Engler 1986). Cette étude servira en particulier à classer le captane et ses dérivés comme cancérigène B2 par l'EPA dès 1986. Cependant, la classification du captane a été revue en 2004 par l'US-EPA à la suite de l'utilisation de nouvelles *guidelines* concernant l'évaluation du potentiel cancérigène des produits phytopharmaceutiques. Le captane a ainsi été déclassé de B2 à *not likely* (probablement non cancérigène) (Gordon 2007). Concernant le folpel, bien que partageant le même mécanisme d'action au sein de la même famille chimique, il reste toujours classé en catégorie B2 par l'US-EPA. Des expériences *in vitro* montrent que le mécanisme d'action toxicologique des phtalimides serait lié aux métabolites, et en particulier le thiophosgène et/ou le tétrahydrophtalimide, formés au niveau du duodénum où ils pourraient exercer leurs effets délétères (INSERM 2013).

Les voies métaboliques du folpel chez l'Homme sont peu connues mais le phtalimide et l'acide phtalimique sont les marqueurs biologiques utilisés pour le dosage du folpel (Berthet, Bouchard *et al.* 2011). La demi-vie du phtalimide et de l'acide phtalimique sont respectivement de 2,5h et de 5h (Canal-Raffin, Receveur *et al.* 2008). Ceci pose problème

dans la mesure où avec ces demi-vies il faut moins d'une journée pour éliminer complètement la substance du sang. Les prélèvements doivent se faire dans la journée pour pouvoir mettre en évidence une exposition en cas de mesure de l'exposition par biomonitoring.

Conclusion

Un questionnaire a été établi, pour servir de base aux entretiens individuels auprès des viticulteurs afin de vérifier les théories sur la perception du risque auprès de cette population. Ce questionnaire se focalise sur les produits phytopharmaceutiques perçus comme dangereux. Les résultats des entretiens seront ensuite confrontés aux pratiques des agriculteurs par des observations de traitements.

Un travail de sélection a conduit à retenir le folpel pour l'étude, notamment grâce aux résultats des entretiens. D'un point de vue toxicologique, ces deux produits sont opposés, tant sur le risque réel que sur le risque perçu. Ce contraste doit permettre, via observations, modélisations et mesures sur le terrain de mettre en lumière des pratiques suivant la perception.

Les résultats proposés dans la cinquième partie doivent répondre à cet objectif est ainsi quantifier le rôle de la perception sur l'exposition, comparativement aux autres déterminants de l'exposition.

Cinquième Partie : Résultats

Dans ce chapitre, les résultats seront présentés selon deux grands axes.

Le premier sur les pratiques phytosanitaires chez les viticulteurs et comment celles-ci sont influencées par la perception du risque. Dans un deuxième temps, les paramètres de la pratique agricole influencés par la perception du risque sont évalués afin de déterminer leur rôle, ou non, sur l'exposition aux produits phytopharmaceutiques.

L'évaluation du risque, tant réel que perçu, a été faite en parallèle durant ce travail. A chaque étape du travail, les résultats d'une approche ont été confrontés à l'autre approche du risque. Afin de conserver une cohérence avec les précédents chapitres de la thèse et mieux comprendre les mécanismes de la perception sur l'exposition, les résultats sont ici présentés linéairement.

Les résultats de la perception sont présentés en premier car ce sont les facteurs issus de cette perception du risque qui ont été évalués lors de la mesure de l'exposition et l'évaluation du risque.

5.1 Entretiens sur la perception du risque

L'analyse des résultats des questionnaires d'entretiens passe par la création d'un tableur avec codage numérique des réponses pour chaque entretien pour faciliter l'interprétation. Le travail de codage est relativement long mais permet, une fois terminé, d'analyser facilement l'ensemble des données. Seules les questions ouvertes qui ne peuvent pas être insérées dans le tableur après codage sont traitées séparément.

Dans la présentation de ces résultats, des exemples de réponses données par les viticulteurs sont proposées entre guillemets pour illustrer leurs sentiments et leur ressenti.

5.1.1 Données générales sur les enquêtes

37 viticulteurs ont été interrogés pour ce travail en mars-avril 2011 et juillet-août 2012.

L'échantillon présente les caractéristiques suivantes :

- La taille des exploitations varie de 134 ha à 5 ha avec une moyenne de 46 ha.
- Les viticulteurs ont 21,6 années d'expérience en agriculture en moyenne. Le plus expérimenté cumulait 50 années d'expérience agricole (viticulteur à la retraite) et 2 ans pour le plus jeune.
- La totalité des exploitants interrogés sont des hommes, et 71 % d'entre eux possèdent le Certiphyto. 80 % des personnes interrogées sont des chefs d'exploitation, 12 % des salariés et les 8 % restants sont des bénévoles.
- Concernant les traitements, la moyenne annuelle sur les exploitations enquêtées est de 1,8 traitement herbicide, 2,12 traitements insecticides et 7,65 traitements fongicides par an. Ceci correspond aux données généralistes de l'Agreste présentées Tableau 20.

5.1.2 Vérification des concepts développés

Le questionnaire et les résultats des enquêtes sont confrontés aux théories sur la perception du risque afin de les valider ou non. L'une de ces théories est que le viticulteur développe des

stratégies d'acceptation du risque. Bien que déclarant souvent « *ne pas y penser* » lors de l'introduction sur la perception du risque, les viticulteurs développent des croyances et comportements facilitant l'acceptation du risque qui se sont révélés lors des entretiens. Ces résultats sont schématisés Tableau 24:

Tableau 24 : Acceptabilité du risque théorique et observée lors des entretiens avec les viticulteurs.

<i>Facteurs</i>	Conditions associées avec une augmentation de la préoccupation du public	Conditions associées avec une diminution de la préoccupation du public
<i>Potentiel catastrophique</i>	Effets groupés dans le temps et l'espace	Effets blessures dispersés et aléatoires
<i>Familiarité</i>	Non familier	Familier
<i>Compréhension</i>	Mécanismes et processus non connus	Mécanismes et processus connus
<i>Incertitudes</i>	Risque scientifiquement inconnu et incertain	Risque connu et décrit par la science
<i>Contrôle personnel du risque</i>	Contrôlé par les autres	Contrôlé par soi-même
<i>Volontariat de l'exposition</i>	Involontaire	Volontaire
<i>Effets sur les enfants</i>	Effets spécifiques aux enfants	Non spécifiques aux enfants
<i>Manifestation des effets</i>	Effets retardés	Effets immédiats
<i>Identité des victimes</i>	Victimes identifiable	Victimes non identifiables
<i>Craintes</i>	Effets craints	Effets non craints
<i>Croyances dans les institutions</i>	Faible	Forte
<i>Attention des médias</i>	Fort	Faible
<i>Accidents historiques</i>	Majeurs et parfois mineurs	Pas d'accidents
<i>Équité</i>	Pas de partage du bénéfice risque	Risques et bénéfices partagés
<i>Réversibilité des effets</i>	Irréversible	Réversible
<i>Origine</i>	Humaine	Naturelle ou divine
<i>Bénéfices</i>	Bénéfices peu certains	Bénéfices certains

Les résultats observés chez les viticulteurs sont surlignés

Dans ce tableau sont représentés les différents *outrages* proposés par Sandman (Sandman 1993) définissant l'acceptabilité du risque selon le sens de la perception. Parmi ces différents facteurs, certains ont une importance élevée dans le sens de l'acceptation du risque. Dix critères favorisant l'acceptabilité de la prise de risque sont validés par les enquêtes, contre neuf contre l'acceptation.

Volontaire ou contraint. Théoriquement le risque est volontaire : c'est le viticulteur qui prend la décision de traiter et il pourrait ne pas traiter ou changer ses pratiques culturales. Dans les faits, l'utilisation des produits phytopharmaceutiques n'est pas vécue comme volontaire. Beaucoup de viticulteurs estiment « *ne pas avoir d'autres choix que de traiter* » pour des raisons économiques en particulier. De plus, certains traitements sont obligatoires réglementairement, comme les traitements contre la cicadelle ou la flavescence dorée, insectes nuisibles en viticulture. Certains d'entre eux souhaiteraient se convertir à l'agriculture biologique ou raisonnée mais pour des raisons économiques estiment ne pas pouvoir y arriver. Mais les habitudes fortement ancrées, ou le temps nécessaire à la conversion en agriculture biologique, leur paraissent insurmontables. L'utilisation des produits est donc souvent vécue comme une contrainte, faisant entièrement partie de la pratique agricole. Certains développent une stratégie d'acceptation par l'utilisation des mêmes produits que ceux autorisés en agriculture biologique. Durant les entretiens, il n'est pas rare de voir certains présenter leurs traitements comme identiques à l'agriculture biologique, mais s'autorisant des produits phytopharmaceutiques qui n'y sont pas autorisés en cas de « coup dur ». Cette stratégie de traitements paraît reprendre le meilleur des approches conventionnelle et biologique de l'agriculture : le viticulteur estime ainsi protéger sa santé ainsi que ses plantes.

Risque naturel ou industriel. Les produits phytopharmaceutiques sont des produits industriels. La plupart des molécules utilisées sont d'origine synthétique : en 2010 sur les 61 900 tonnes de produits phytopharmaceutiques vendus en France, 48 200 tonnes sont des produits de synthèse et 13 700 tonnes des produits à base de soufre ou de cuivre considérés comme naturels par les viticulteurs. Dans ce travail, il était attendu que les produits phytopharmaceutiques soient considérés comme un risque de type industriel. Sur le terrain, les viticulteurs séparent les produits phytopharmaceutiques en deux groupes : les conventionnels et les minéraux (essentiellement la bouillie bordelaise, fongicide à base de cuivre). Les produits phytopharmaceutiques conventionnels sont considérés comme plus dangereux que les produits phytopharmaceutiques minéraux, tel le cuivre, qui sont perçus comme des substances peu toxiques car naturelles. Dans ce cas, l'acceptabilité dépend du type de produit utilisé. La séparation en terme de danger perçu entre les produits conventionnels et ceux à base de cuivre est fortement marquée. Une dernière classe de produits phytopharmaceutiques, relativement récente, se situe entre les deux mondes : les produits de confusion sexuelle. Ces produits dispersent des phéromones aboutissant à une perturbation

des insectes dans leur cycle de reproduction. Ces phéromones sont perçues comme toxiques par certains viticulteurs (elles pourraient affecter l'Homme) ou au contraire une solution efficace, rapide et peu toxique pour d'autres. Plus développée en arboriculture, la confusion sexuelle reste rare en viticulture.

Sources officielles ou non sur le risque sanitaire. Sandman explique que les sources d'information officielles sur un risque sont toujours mieux acceptées que celles issues de sources non officielles. Dans les faits, ce n'est pas toujours le cas. Si plus de la moitié des viticulteurs ont confiance dans les AMM (délivrées par une autorité) pour protéger leur santé, une part non négligeable estime qu'il y a des conflits d'intérêt au sein des agences et des décideurs, ce qui rend les messages issus de sources officielles peu crédibles. Le cas de « l'affaire du Mediator® »¹⁸ (souvent cité en exemple puisque cette affaire était très médiatisée lors des enquêtes de 2011) n'est pas étranger à ce sentiment. La Figure 14 détaille la confiance accordée par les viticulteurs à l'AMM.

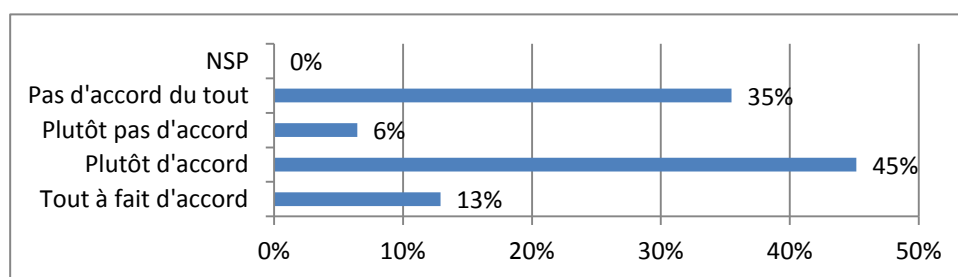


Figure 14 : Confiance accordée dans l'AMM pour protéger la santé des viticulteurs

La confiance dans les sources d'information sur le risque varie grandement selon les viticulteurs.

Le Tableau 24 illustre l'importance de la maîtrise du risque ressenti par le viticulteur dans son acceptation. Sur le terrain, seul le viticulteur (chef d'exploitation) traite, même s'il y a d'autres personnes travaillant au sein de l'exploitation. Dans le cas des châteaux ou des exploitations à plusieurs salariés enquêtés, le chef de culture se réserve toujours l'étape jugée délicate qu'est la préparation de la bouillie, présentant l'activité de traitement comme essentielle pour la protection des plantes (et donc le retour économique attendu), cette tâche

¹⁸Le benfluorex est le principe actif du Mediator®, médicament à l'origine d'un scandale sanitaire en 2011 par suite d'apparitions de cardiopathies en lien avec ce médicament chez de nombreux patients traités.

n'est pas déléguée pour éviter de faire prendre le risque sanitaire à d'autres personnes et pour mieux maîtriser le risque agronomique. Le viticulteur responsable estime avoir l'expérience et la maîtrise du risque produit phytopharmaceutique pour l'assurer seul.

L'idée « *de faire attention* » par l'adoption de pratiques décrites par viticulteur comme étant suffisantes pour réduire le risque est très fortement développée. C'est le point essentiel retrouvé dans ces enquêtes : la sensation de maîtrise du risque. Les paramètres de maîtrise du risque sont développés dans la suite de ces résultats.

5.1.3 Déterminants de la perception du risque

80 % des viticulteurs interrogés estiment prendre un risque en utilisant des produits phytopharmaceutiques et les 20 % restants estiment ne pas courir de risque car adoptant toutes les dispositions nécessaires pour l'éliminer.

Dans les deux cas, se développent des stratégies d'acceptation du risque.

Une sensation de maîtrise du risque marquée

Comme cela a été présenté dans la partie précédente, la maîtrise du risque apparaît être l'élément clef de l'acceptation de la prise de risque. Plusieurs questions reflètent particulièrement ce sentiment et indiquent les déterminants de cette acceptation.

La Figure 15 présente les résultats concernant la question « Qu'est-ce qui est le plus dangereux pour votre santé, dans les produits phytopharmaceutiques ? »

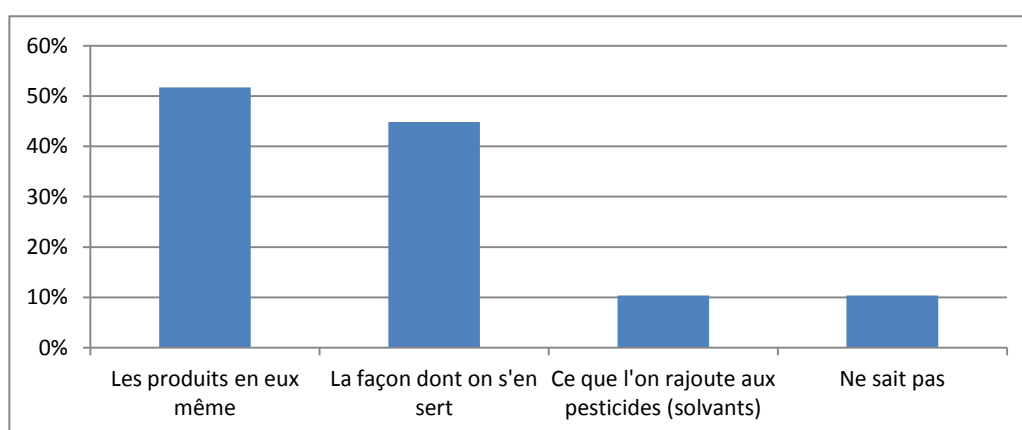


Figure 15 : « Qu'est-ce qui est le plus dangereux pour votre santé dans les produits phytopharmaceutiques ? » Plusieurs réponses possibles.

La «*façon dont on se sert*» des produits phytopharmaceutiques joue un rôle très important dans la perception. À cette question, plus de la moitié des viticulteurs estiment que la façon de les utiliser influe sur le risque encouru. Dès lors, les viticulteurs estiment «faire attention», ce qui traduit ici le besoin de maîtrise du risque dans son acceptabilité. Néanmoins, le risque sanitaire n'est pas exclu, même chez les viticulteurs qui estiment faire attention. Les viticulteurs pensent qu'il n'est pas possible de se soustraire totalement au danger des produits phytopharmaceutiques puisqu'un peu plus de la moitié perçoivent que les produits sont dangereux en eux-mêmes et que l'exposition est inévitable malgré les précautions prises.

Devant ce risque perçu comme inévitable apparaissent des pratiques de sécurité qui sont influencées par l'idée que celles-ci atténuent le risque.

Choix de la forme de produits

Les résultats de la question sur la forme préférée des produits phytopharmaceutiques et les critères de choix sont présentés Figure 16. C'est une question posée dès le début du questionnaire avant même d'aborder la partie sur le risque.

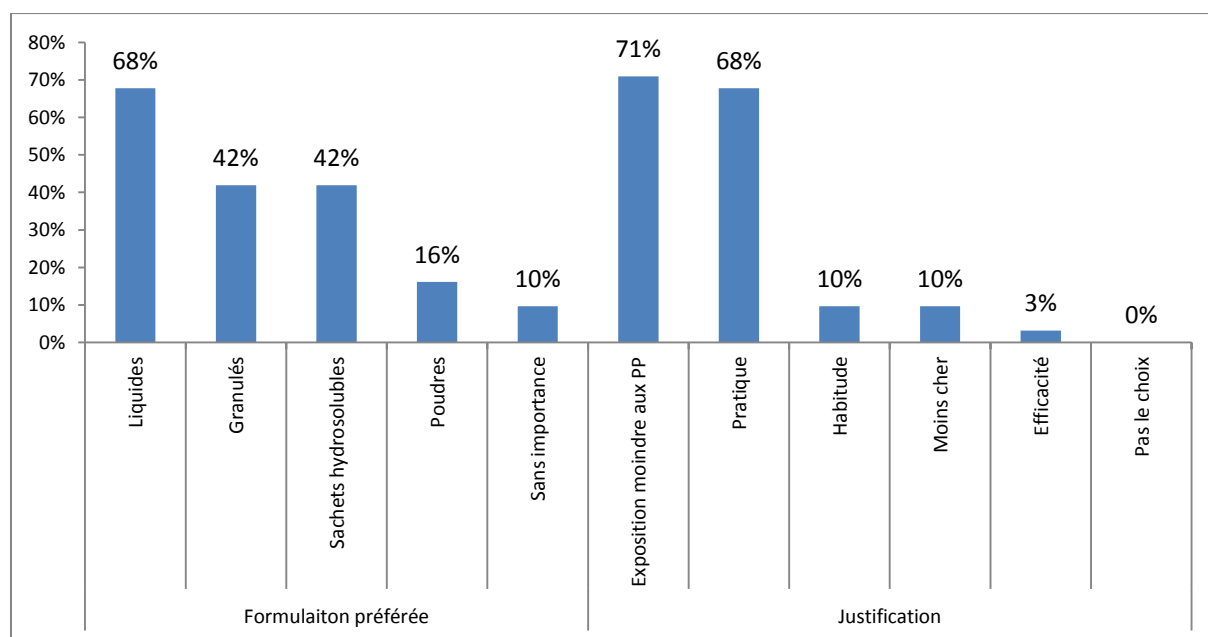


Figure 16 : Forme préférée des produits phytopharmaceutiques employés et justification.

Plusieurs réponses possibles.

Les formes préférées des produits phytopharmaceutiques sont les liquides, les granules et les sachets hydrosolubles. Devant les contraintes économiques liées aux traitements, l'efficacité

et la praticité de ces formes étaient attendues comme les principaux critères de choix. En pratique, l'exposition supposée moindre avec les liquides, granules et sachet est l'élément primordial de choix devant l'aspect pratique de ces formes. Ce deuxième paramètre est lié au premier puisqu'un produit facile à manipuler évite de « *s'en mettre partout* » et réduit d'autant l'exposition. Les deux premiers critères de choix sont donc corrélés à une réduction du risque perçu. Ce résultat est instructif sur plusieurs points :

- La maîtrise du risque apparaît en amont du traitement, dès le choix des formulations. La maîtrise du risque ne se limite pas uniquement aux pratiques mais s'élargit à des choix réalisés avant l'utilisation des substances.
- Bien que la conjoncture économique soit difficile et que les coûts des traitements soient importants et souvent soulignés lors des entretiens, l'influence du prix de la forme est un argument utilisé par seulement 10 % des viticulteurs interrogés. Les formes poudres sont moins coûteuses que leurs homologues liquides ou granulés, pourtant les plus utilisées.
- Les choix sont justifiés par un critère pratique qu'est la visibilité et la sensibilité du risque. Les poudres sont sujettes à la formation d'aérosols visibles lors de leurs manipulations. Cette visibilité du risque conduit à estimer que l'exposition est importante avec cette formulation. Ce lien entre visibilité des aérosols et exposition illustre le raisonnement logique proposé Tableau 19 sur le système expérimental et analytique de la perception du risque. Cette première manifestation sur la visibilité du risque, qui est un facteur important de la perception, sera développée dans la suite de ce travail.

Le résultat sur les choix des substances doit cependant être pondéré concernant l'efficacité et son importance dans le choix des formulations. L'efficacité des traitements est dans ce cas considérée comme identique pour toutes les formes. Les viticulteurs se fiant essentiellement à des techniciens pour les stratégies de traitement, la problématique de l'efficacité est ici faible dans le choix car elle n'est plus de leur responsabilité.

Mécanismes d'exposition aux produits phytopharmaceutiques

Dans la partie bibliographique sur l'état des connaissances sur l'exposition des produits phytopharmaceutiques, a été présentée la voie majoritaire d'exposition aux produits phytopharmaceutiques. La voie respiratoire y est présentée comme minoritaire face à la voie dermique responsable de près de 90 % de l'exposition totale. Les viticulteurs ont cependant

une vision différente de la question. La Figure 17 présente les voies d'exposition majoritaires, de leur point de vue, selon les étapes du traitement.

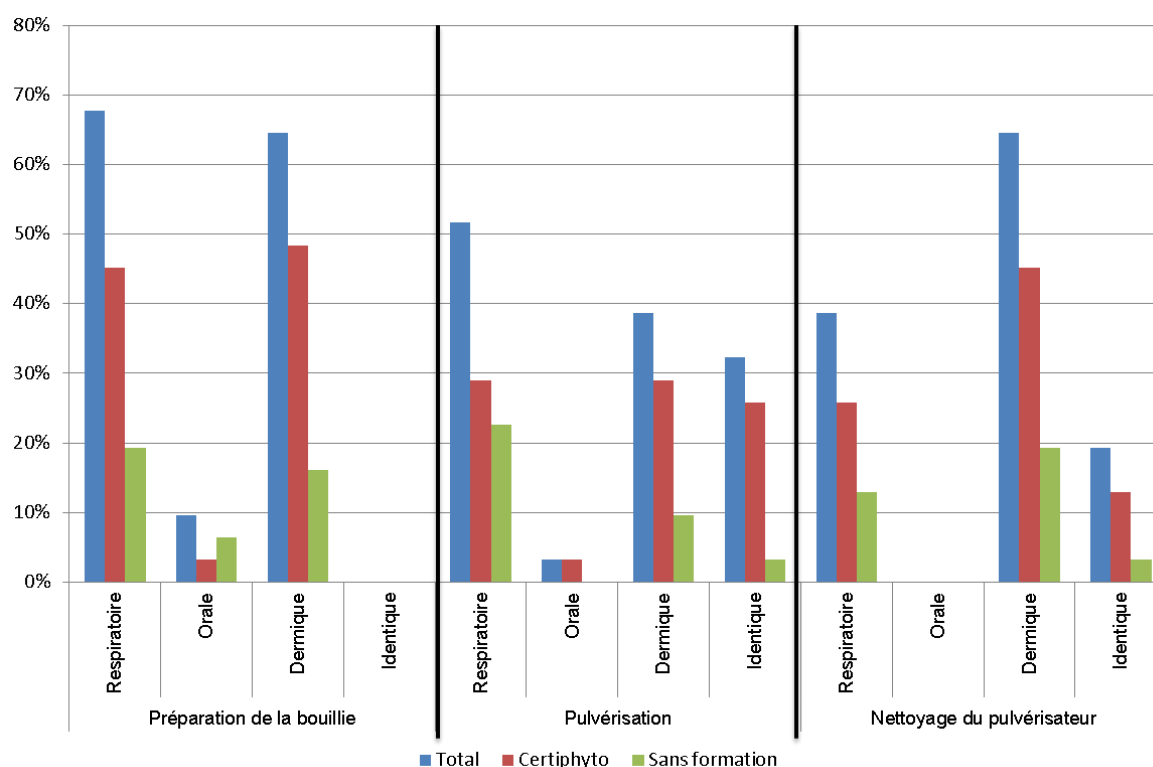


Figure 17 : Voies d'exposition perçues comme principales selon les étapes du traitement et le niveau de formation. Plusieurs réponses possibles.

La voie respiratoire apparaît être la principale voie d'exposition aux produits phytopharmaceutiques pour les viticulteurs lors de la préparation de la bouillie et de la pulvérisation. Ce résultat illustre l'importance de la sensibilité du risque dans sa perception. Dans un raisonnement d'association logique décrit tableau 20, les agriculteurs estiment que la voie respiratoire est exposante car les produits phytopharmaceutiques (notamment ceux sous forme de poudre) sont visibles sous forme d'aérosols, et donc se respirent. Couplés à l'odeur de certains produits, ces paramètres environnementaux sensibles des produits phytopharmaceutiques renforcent l'idée de l'importance de la voie respiratoire dans l'exposition. La voie respiratoire perd sa première place lors du nettoyage : toujours en appliquant le principe d'association logique pour le mécanisme de perception des risques, les viticulteurs déclarent que lors du nettoyage les projections d'eau contaminent plus facilement la peau qui devient la première voie de pénétration.

Le cas de la pulvérisation est particulier : les viticulteurs interrogés possèdent tous une cabine à air filtré sur le tracteur servant à la pulvérisation. Cette bulle les isole des produits phytopharmaceutiques lors de la pulvérisation. Cette protection assurée par le filtre de la cabine rend l'exposition lors de la pulvérisation perçue comme faible. Devant ce risque fortement réduit par la cabine, les voies d'exposition apparaissent souvent comme identiques. L'association logique des mécanismes d'exposition (bulle protectrice) explique ici ce résultat.

Seul l'incident lors d'un traitement (buse qui se bouche, pied de vigne accroché par le bras du pulvérisateur obligeant à descendre du tracteur) est responsable d'une exposition.

Le Certiphyto modifie sensiblement les réponses des viticulteurs détenteurs comparativement à ceux ne l'ayant pas passé. Dans cette formation, qui s'appuie sur des données scientifiques, la voie respiratoire est présentée comme négligeable comparativement à la voie dermique. Cette formation modifie l'importance de la perception de la voie dermique chez les viticulteurs l'ayant suivie. Néanmoins, la voie respiratoire demeure perçue comme étant la plus importante, dans tous les cas. Ceci traduit l'importance et la puissance des signaux environnementaux sur la perception : l'odeur et la visibilité des aérosols restent des facteurs forts de la perception devant les connaissances acquises lors des formations. Un agriculteur a par exemple ouvertement déclaré avoir appris, lors du Certiphyto, que la voie respiratoire était négligeable comparativement à la voie dermique mais déclare : « je n'y crois pas ». Présents à chaque usage, les signaux environnementaux des produits phytopharmaceutiques supplantent les connaissances.

L'étape du traitement la plus exposante, aux yeux des viticulteurs, traduit, là encore, le raisonnement empirique des viticulteurs dans l'évaluation des risques. 90 % des viticulteurs interrogés estiment que la préparation est la phase la plus exposante du processus du traitement. L'utilisation des formes concentrées lors de la préparation est citée pour justifier cette étape comme étant la plus dangereuse à leurs yeux.

Sensibilité du risque et danger des produits phytopharmaceutiques

Les précédents résultats montrent l'importance des signaux environnementaux dans la perception et cela malgré les formations et communications faites sur le risque. Un premier décalage s'observe ici entre le risque perçu et le risque réel.

L'odeur dégagée par les produits phytopharmaceutiques est un indicateur de la voie d'exposition, mais apparaît en plus comme étant un marqueur du danger. La Figure 18 indique quelles sont les classes de produits phytopharmaceutiques perçues comme les plus dangereuses :

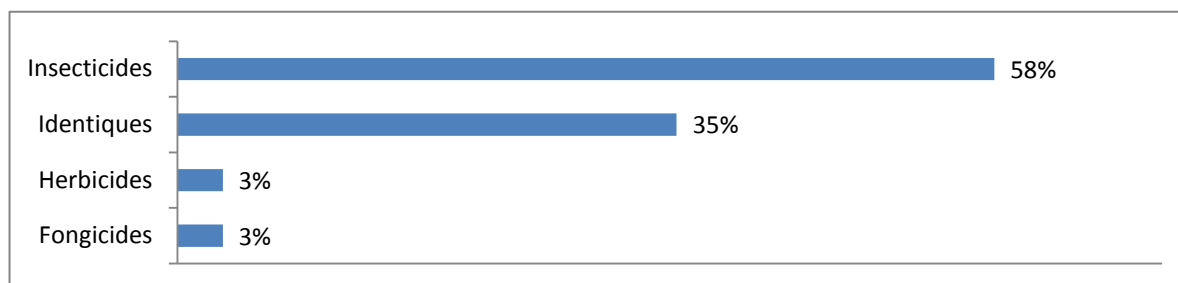


Figure 18 : Classification des produits phytopharmaceutiques selon leur dangerosité perçue.

Les insecticides sont perçus comme les produits phytopharmaceutiques les plus dangereux pour près de 60 % des viticulteurs. Une fois encore, une association logique est donnée par les agricultures pour expliquer leur réponse : les humains sont plus proches des insectes que des plantes, et ce qui est toxique pour les insectes l'est aussi pour l'Homme. Des explications sont données sur des mécanismes toxiques sur le système nerveux affectant aussi l'Homme. L'odeur forte de certains insecticides est aussi donnée pour justifier ces craintes. 35 % des viticulteurs estiment aussi que les produits phytopharmaceutiques sont aussi dangereux les uns que les autres. Ces viticulteurs sont ceux qui estiment que les produits phytopharmaceutiques sont dangereux en fonction de leur utilisation, et une utilisation perçue comme correcte, quelle que soit la classe de produits phytopharmaceutiques employée, est une façon de se protéger.

Influence de la couleur et odeur des produits phytopharmaceutiques

La classe des produits phytopharmaceutiques et leur odeur sont des facteurs forts sur la perception de la dangerosité des produits phytopharmaceutiques. Dans les sociétés occidentales, le rouge et les couleurs vives sont des indicateurs de dangers, et certains produits phytopharmaceutiques sont colorés volontairement ou non par les fabricants (Thierauf, Weinmann *et al.* 2010). Le Figure 19 récapitule l'importance accordée par les viticulteurs concernant la couleur sur l'estimation de la dangerosité.

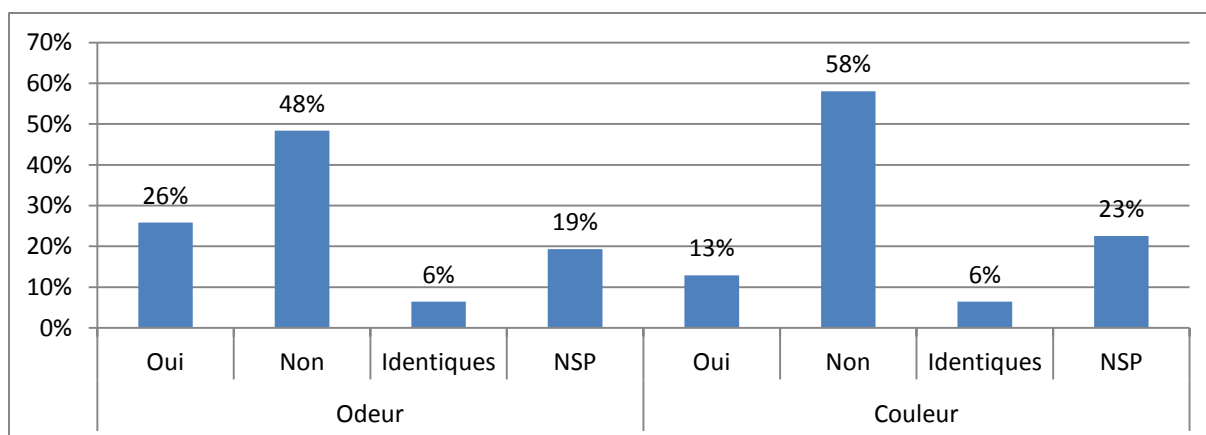


Figure 19 : "Selon vous, l'odeur ou la couleur d'un produit phytopharmaceutique sont-ils des indicateurs de dangerosité ?"

L'odeur d'un produit phytopharmaceutique est un indicateur de toxicité pour 26 % des viticulteurs. 48 % considèrent que l'odeur n'est pas un critère pour estimer la toxicité. Dans ce cas, la formation Certiphyto est citée comme source de cette affirmation. Comparativement la couleur n'est un marqueur de toxicité que pour 13 % des viticulteurs. La réponse identique signifie que les viticulteurs sont sensibles à ce paramètre mais qu'il n'est pas bon pour estimer la dangerosité. Ce résultat doit être approfondi par les déclarations en marge de cette question. L'odeur est un facteur puissant influençant sur l'estimation du danger. Bien que difficile à quantifier les viticulteurs sont plus sensibles à ce paramètre qu'à la couleur, y compris pour ceux estimant que la couleur est un marqueur de danger. L'odeur reste un paramètre pris en compte pour estimer la dangerosité par moins d'un tiers des personnes interrogées mais celles-ci y sont particulièrement sensibles.

5.1.4 Conséquences sanitaires redoutées

Ces paramètres sensibles de la perception influencent donc négativement l'idée du danger perçu par les viticulteurs lié à l'usage des produits phytopharmaceutiques. Afin de quantifier cette perception négative, une liste de pathologies est présentée aux viticulteurs sur laquelle il est demandé de noter de 0 à 10 les conséquences sanitaires redoutées en rapport avec les produits phytopharmaceutiques. Le résultat est présenté Figure 20:

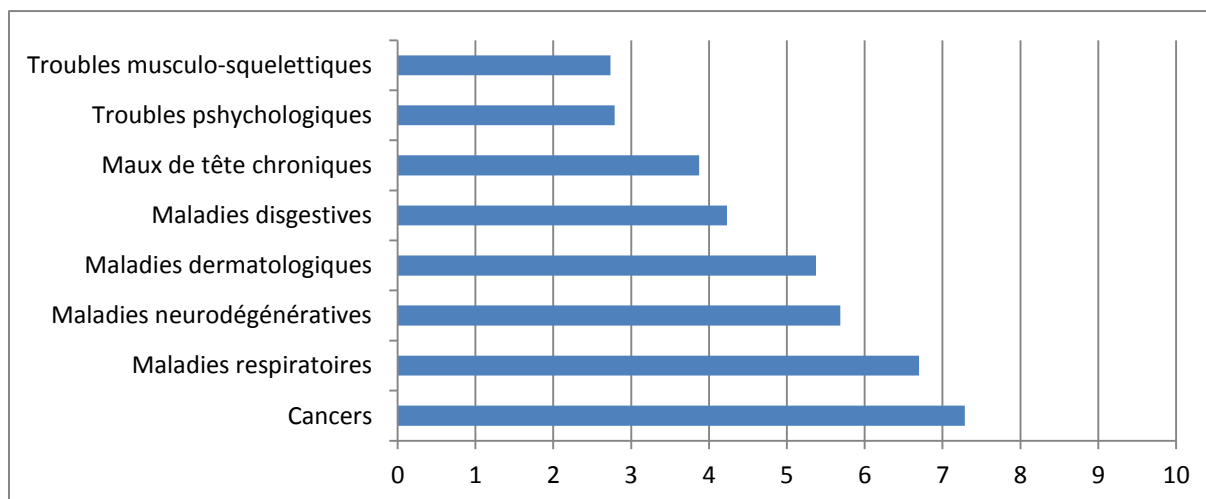


Figure 20 : Conséquences sanitaires, liées à l'usage des produits phytopharmaceutiques sur le long terme, redoutées par les viticulteurs.

0 = pas de risque, 10 = risque certain

Le cancer est la maladie liée à l'usage des produits phytopharmaceutiques la plus redoutée sur le long terme. Toutes localisations confondues, cette pathologie grave et affectant particulièrement la qualité de vie traduit l'importance du risque estimé par les viticulteurs. Les maladies respiratoires arrivent en seconde position et confirment l'importance de la perception concernant la voie respiratoire et l'odeur des produits. Le cancer des poumons est aussi cité pour les maladies respiratoires bien que, lors de l'entretien, soit précisé que les maladies respiratoires ne concernaient pas le cancer des poumons. Cela traduit une crainte marquée de ce cancer et du cancer en général.

Les maladies neurodégénératives sont craintes elles aussi. Cependant les viticulteurs parlent de cas exposés par la MSA ou dans la presse spécialisée, soulignant ici un rôle de la communication dans la perception.

A l'exception des troubles musculo-squelettiques décrits comme étant liés essentiellement aux travaux physiques dans les exploitations, les maux de tête, de ventre et psychologiques sont eux aussi attribués aux produits phytopharmaceutiques mais de façon indirecte : le stress et le coût de leur emploi expliqueraient ces symptômes.

Les conséquences redoutées sont donc graves et au long terme. La Figure 21 indique les conséquences redoutées par les viticulteurs, liées aux produits phytopharmaceutiques dans le temps.

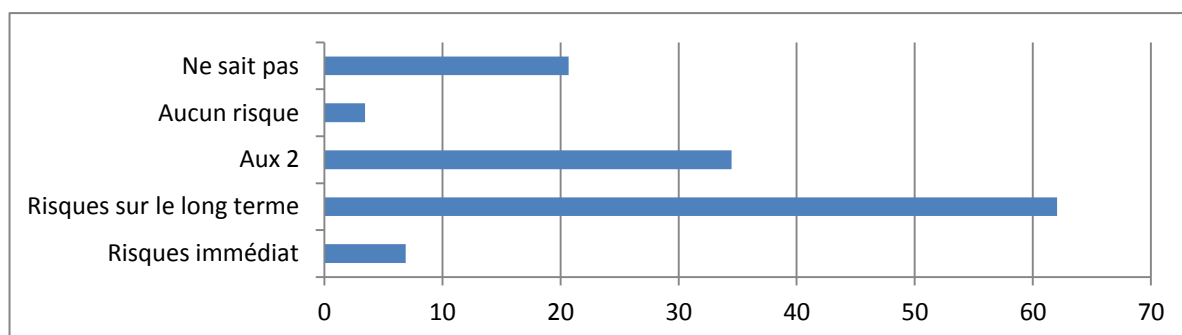


Figure 21 : « Concernant le risque sanitaire lié aux pesticides, vous pensez : ... »

Les résultats de la figure 21 dépassent les 100 %. Lors des entretiens, une première réponse est apportée spontanément, puis parfois assortie d'une pondération : « *Ce sont les risques au long terme les plus inquiétants, [...] mais il faut quand même penser aux deux* ». Le choix est donc fait de reporter ces deux réponses pour transcrire le sentiment dominant des viticulteurs. Les conséquences sanitaires sont essentiellement redoutées pour le long terme.

Une relativisation du risque importante

Le risque sanitaire est perçu comme grave et au long terme par les viticulteurs. Pour mieux comprendre les mécanismes de la perception, ce risque a été comparé à d'autres formes de risque sur les exploitations, qui sont, pour certaines, plus importantes que celui lié aux produits phytopharmaceutiques. C'est par exemple le cas du risque physique (chute de tracteur, accident avec un cardan) (InVS 2006 ; Waggoner, Kullman *et al.* 2011).

Les résultats de la question « Quel est pour vous le risque sanitaire le plus important ? » sont présentés Figure 22:

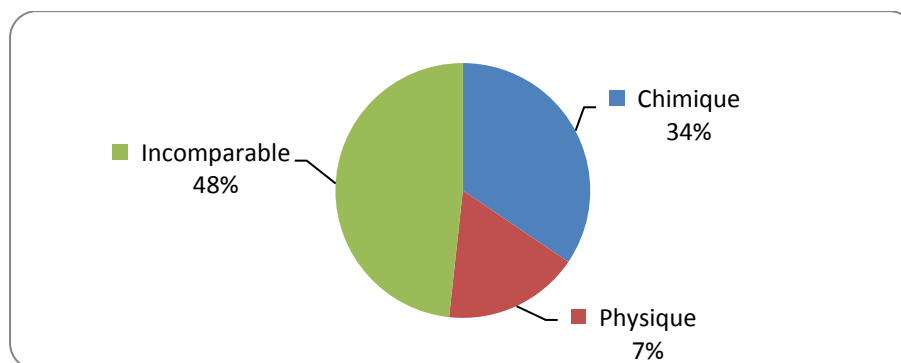


Figure 22 : « Selon vous, quel est le risque le plus important pour votre santé dans votre activité ? »

Le risque physique n'est perçu comme étant le plus dangereux que pour 7 % des viticulteurs interrogés. Mais la place importante de « incomparable » confirme les résultats précédents et la place particulière du risque phytosanitaire dans la perception du viticulteur. La notion de maîtrise du risque est différente pour ces deux formes de risque, ce qui explique ces réponses. L'accident physique est vécu comme une faute professionnelle, une erreur d'inattention dont la sanction est immédiate. En se référant au Tableau 18 sur les facteurs d'acceptation du risque, le risque physique apparaît comme recouvrant l'ensemble des paramètres d'acceptation. Maîtrisés, familiers, risques connus, à l'exposition volontaire, aux effets immédiats et aux victimes déterminées (eux-mêmes), le risque physique n'est pas perçu comme important par les viticulteurs. En revanche, les incertitudes, les effets non maîtrisables totalement et aux effets chroniques incertains des produits phytopharmaceutiques aboutissent à hiérarchiser et séparer ces deux formes de risque. Le risque phytosanitaire a une place particulière dans l'esprit des viticulteurs. Concrètement cela se traduit par une approche distincte de ce risque lors de messages de communication et des études sur celui-ci.

Les viticulteurs ont aussi été interrogés sur l'utilité d'ajouter des « marqueurs de risque » dans les produits phytopharmaceutiques, comme un produit colorant ou odorant. Les résultats sont présentés ci-dessous, dans la Figure 23:

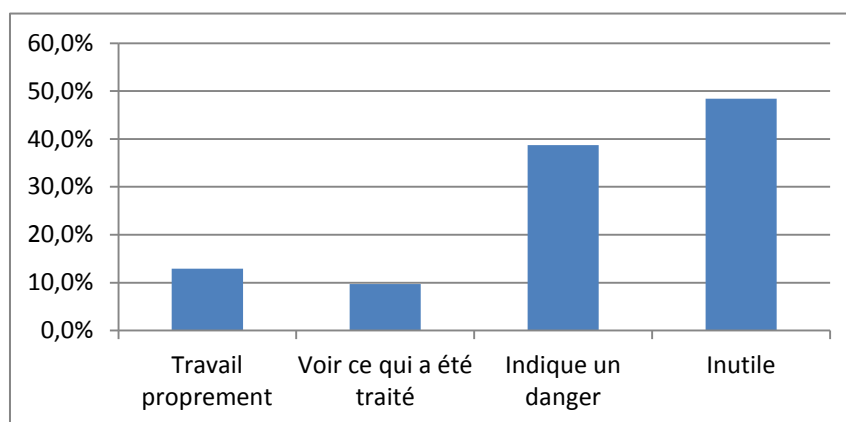


Figure 23 : « Selon vous, colorer volontairement les produits phytopharmaceutiques serait utile pour : » Plusieurs réponses possibles.

Les viticulteurs estiment peu utile d'ajouter un colorant aux produits phytopharmaceutiques. Seuls les produits phytopharmaceutiques les plus dangereux devraient être colorés pour près de 40 % des viticulteurs, et une coloration systématique n'est que peu utile. À cette question, les viticulteurs estiment qu'ils n'utilisent plus les produits phytopharmaceutiques qui leur semblent les plus dangereux, ce qui explique l'intérêt limité de la coloration. À cette question, la maîtrise du risque par l'abandon des substances les plus dangereuses est présentée par les viticulteurs. Dès lors, l'utilité de les colorer est faible sur la perception du risque.

5.1.5 Conséquences sur les pratiques

Les viticulteurs déclarent ne pas relier directement un facteur de perception avec une pratique de sécurité. Lorsque c'est le cas, le processus d'évaluation du risque perçu reste flou : « *je fais plus attention avec les produits [perçus comme] dangereux* ». Pour traduire ce mécanisme concrètement, les facteurs de la perception précédemment présentés sont rapportés à des pratiques de sécurité. Parmi ces pratiques, le respect du port des équipements de protections individuelles (EPI) en est le marqueur visible et le plus fort.

Le port des EPI est représentatif de la perception du risque car il est fortement influencé par le danger estimé des produits utilisés. C'est un marqueur qui n'a pas de biais : l'usage des EPI n'améliore ou ne détériore pas les traitements et ne porte que sur la sécurité des opérateurs.

Les EPI sont peu onéreux, (les viticulteurs interrogés déclarent que le prix des EPI n'est pas un problème), facilement disponibles sur le marché et l'observation directe de leur utilisation est possible par un tiers. Ce marqueur direct et sans biais de la perception du risque est retenu dans l'évaluation de l'exposition influencée par la perception. Bien que d'autres facteurs soient aussi responsables de la sécurité sanitaire des viticulteurs comme le respect des doses, ou le choix du matériel, ces facteurs influencent aussi fortement l'efficacité des traitements (et donc les récoltes) jouant sur les revenus potentiels des viticulteurs. Le poids économique de ces paramètres biaise fortement leur interprétation par un tiers. La Figure 24 présente le port des EPI selon les étapes du traitement:

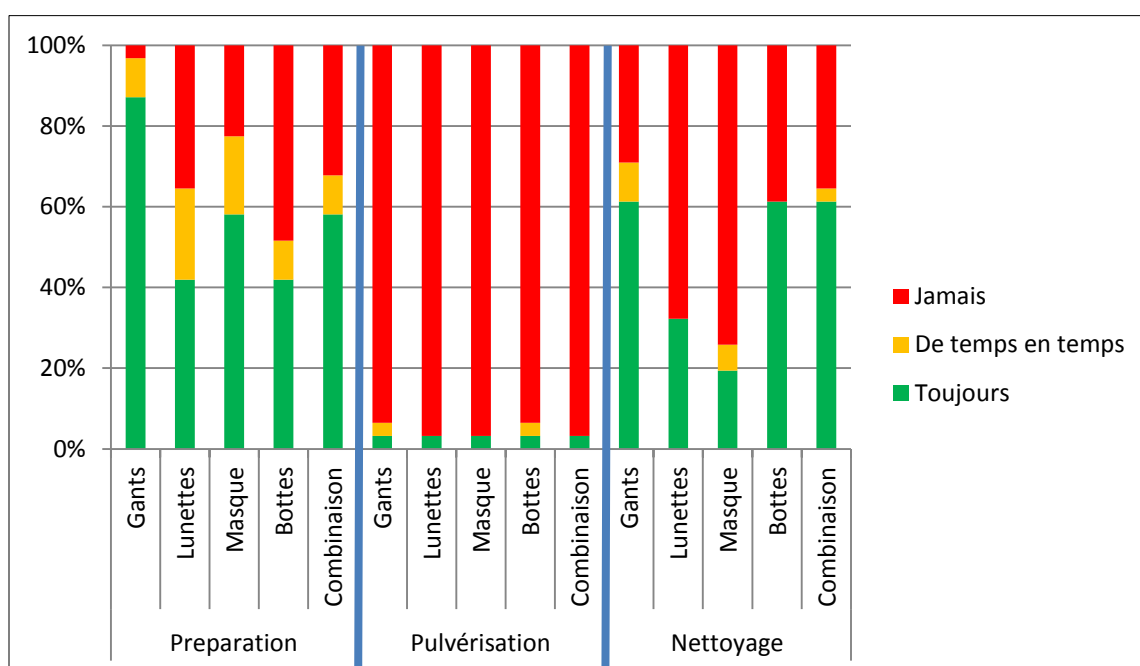


Figure 24 : Port des EPI lors des différentes phases du traitement

Le port des EPI traduit en pratique de nombreux facteurs de la perception du risque :

-La phase de préparation est perçue comme la plus exposante et c'est cette phase qui présente le taux le plus important de port des EPI. Les gants, le masque et la combinaison sont les 3 EPI les plus utilisés. Les lunettes et le masque sont portés « de temps en temps » par environ 20 % des viticulteurs. En pratique, il s'agit d'un port qui dépendra des produits utilisés et les formes poudreuses ou odorantes sont celles où ces EPI sont utilisés. Cela traduit l'influence de la perception sur les pratiques puisque la forme et la perception d'un produit agissent directement sur les pratiques de sécurité. Le masque et les gants sont fortement utilisés tant à cause des formations et connaissances (voie dermique présentée comme la plus exposante

Certiphyto) qu'à cause de la perception (rôle de l'odeur et sa conséquence sur la voie perçue comme importante). Les viticulteurs observés estiment que la formation a eu un effet bénéfique sur l'usage des produits phytopharmaceutiques pour la moitié d'entre eux, comme indiqué Figure 25.

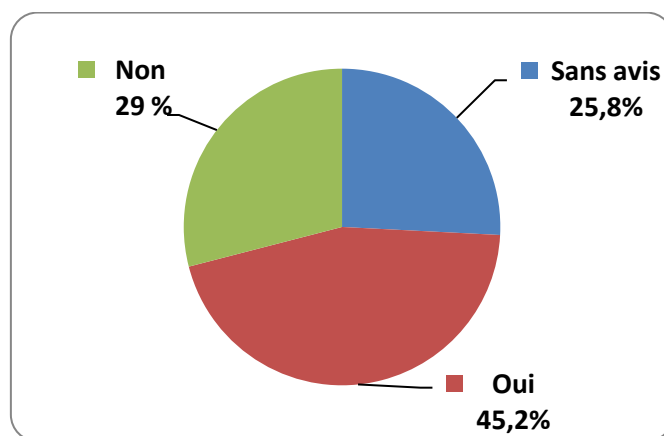


Figure 25 : « *Estimez-vous que la formation Certiphyto vous a permis de mieux utiliser les produits phytopharmaceutiques ?* »

-« L'effet barrière » procuré par la cabine filtrée se traduit en pratique par un port quasi nul des EPI durant la pulvérisation. Le système de perception expérimentale (Tableau 5) fonctionne ici parfaitement avec un raisonnement logique et une association d'idées. Le raisonnement est le suivant : *Le produit est dilué dans la cuve, il est donc moins dangereux que sous forme concentrée. Je pulvérise à l'extérieur de la cabine et je suis dans une cabine filtrée, je ne suis donc pas exposé et il n'est pas nécessaire de porter des EPI.*

La visibilité du risque (odeur et forme poudre) tout comme les éléments de sécurité (EPI, cabine, filtre) sont ici pleinement responsables des pratiques de sécurité. Ces pratiques sont pour la plupart liées au respect des doses, du délai de réentrée, mais surtout de l'utilisation des EPI.

-Le port des équipements lors du nettoyage est influencé là encore par des facteurs visibles. L'eau projetée incite les viticulteurs à se protéger, non pas du produit mais de l'eau elle-même. La combinaison est ici souvent remplacée par un tablier en plastique.

5.1.6. Vérification du déclaratif

Lors de la campagne de prélèvement de 2012, des viticulteurs interrogés en 2011 ont été observés à nouveau. Si la campagne d'entretien de 2011 se base sur le déclaratif, celle de 2012 ayant eu lieu lors des traitements a permis d'observer les pratiques réellement effectuées sur le terrain, et notamment le port des équipements de protection. Les viticulteurs ré-observés ont tous porté les équipements tels que ceux déclarés lors de l'entretien de fin de traitement. Concernant le risque perçu, ceux-ci ont apporté des réponses identiques à celles des entretiens de 2011. Ces ré-observations montrent que les viticulteurs ont été honnêtes dans leurs réponses vis-à-vis de leur comportement de sécurité.

5.1.7 Bilan des entretiens, limites et perspectives

Les enquêtes réalisées sur le terrain ont permis de définir les facteurs de la perception du risque, et le poids de chacun d'entre eux. Ces résultats dressent un bilan des différents processus et déterminants de la perception du risque.

Les déterminants définissant négativement la perception sont nombreux et les viticulteurs développent, pour chacun d'entre eux, des facteurs d'acceptation. Le respect et l'usage des EPI est le marqueur visible le plus représentatif de la perception de chaque agriculteur.

D'un point de vue réglementaire, la première action dans la réduction d'un risque est l'élimination de celui-ci¹⁹. Cependant, pour les viticulteurs, les enquêtes montrent que l'élimination des produits phytopharmaceutiques est impossible tant leur utilisation est ancrée dans leur pratiques. Bien que quelques viticulteurs tendent vers une agriculture raisonnée ou de type biologique, l'utilisation des produits phytopharmaceutiques n'est remise en cause par aucun d'entre eux. Dès lors, un transfert de réduction du risque collectif vers l'individuel s'observe. Les viticulteurs ayant le plus de responsabilités sont ceux qui traitent : les chefs de culture ou d'exploitation se chargent du traitement ou de la partie la plus problématique d'un point de vue sanitaire qu'est la préparation de la bouillie. Perçue comme la plus critique (manipulation de produits concentrés), cette prise de responsabilité s'accompagne d'une réduction du risque pour les salariés et collaborateurs du viticulteur. Ce transfert de risque sur

¹⁹Article R4412-11 du code du travail.

leurs épaules est accepté car des mécanismes de réduction et d'acceptation du risque se mettent en place.

En dehors de l'usage des EPI, d'autres facteurs tels que les choix du matériel, des formulations et des produits se font aussi pour assurer une sécurité du viticulteur mais ces paramètres sont fortement influencés par des critères économiques (rendements agricoles), biaisant le rôle de la perception dans ces choix. Bien qu'en partie influencées par cette perception, les contraintes économiques, le rôle des fournisseurs et coopératives modifient sensiblement les choix des viticulteurs rendant l'évaluation de ces paramètres sur l'exposition difficiles et non généralisables.

- Les résultats proposés sont sous forme de scores, de notes ou de valeurs mesurées. Pourtant, il n'a pas été possible d'établir un « score » de dangerosité des produits employés comme cela a été fait pour évaluer les conséquences sanitaires craintes (voir Figure 21). Les mécanismes de perception sont complexes et très individualisés, rendant une évaluation chiffrée difficile auprès des viticulteurs et peu représentative de l'ensemble de la population.

À ce stade, il n'est pas non plus possible de relier directement les facteurs de perception observés aux conséquences sur les pratiques agricoles. Le seul lien qui a été observé est celui du port des EPI selon la perception. Cependant les viticulteurs n'ont pas conscience des conséquences de leur perception sur leurs pratiques agricoles. Cette perception et sa conséquence sont totalement intégrées dans la pratique agricole. Lorsque des facteurs de risques sont présentés aux viticulteurs et qu'il leur est demandé comment cela influe sur leur pratique, les réponses sont évasives (« on fait attention »), ou le facteur, réfuté. Face à cette crainte, l'évaluation directe par questionnaire des conséquences de la perception sur les pratiques agricoles s'expose à un biais : celui de vouloir donner la bonne réponse, que cela soit consciemment (peur d'être jugée par « l'enquêteur ») ou inconsciemment (pour se rassurer face au risque).

D'autres paramètres de sécurité immatériels tels que les comportements et le soin apporté aux manipulations des produits phytopharmaceutiques lors du remplissage de la cuve, sont influencés par le danger perçu. Néanmoins l'évaluation par un questionnaire est impossible, et passe par l'observation des traitements avec des produits phytopharmaceutiques perçus comme sans danger et d'autres avec danger afin d'observer un écart entre ces pratiques. Les modélisations et les mesures de terrain s'inscrivent dans la continuité de ces enquêtes et

permettront d'évaluer indirectement les conséquences des facteurs de la perception sur les pratiques et l'exposition et le rôle des comportements lors du traitement.

5.2 Modélisation de l'exposition

La modélisation de l'exposition concrétise les conséquences de la perception du risque sur l'exposition des viticulteurs aux produits phytopharmaceutiques. Les paramètres d'exposition des modélisations s'appuient sur les pratiques qui découlent directement de la perception du risque.

5.2.2 Programmation des modèles

Le précédent chapitre a montré la place particulière du port des EPI dans la perception du risque. Le niveau d'utilisation des EPI est fortement influencé par la perception qu'ont les viticulteurs des produits qu'ils utilisent. Le degré d'utilisation des EPI et leurs impacts sur l'exposition sont dans un premier temps évalués par l'utilisation de modèles d'exposition.

Le modèle BBA est le plus adapté pour cette approche puisque ce modèle permet de régler, plus finement que le modèle UK-POEM, le port des EPI selon les différentes phases du traitement. Les conséquences sur l'exposition de l'utilisation des EPI seront analysées grâce à différentes modélisations décrites ci-après. Ce choix du modèle BBA est confirmé par la revue toxicologique de l'EFSA sur le folpel indiquant que leurs modélisations se sont basées sur le modèle BBA (EFSA 2009a). Les paramètres de modélisation sont fixes et détaillés comme suit :

Matériel de pulvérisation

Le matériel de pulvérisation retenu dans le modèle est le pulvérisateur tracté de type pneumatique. Ce matériel est donné pour traiter 20 hectares et 24 minutes pour traiter un hectare.

Les enquêtes montrent que le temps moyen de traitement est de 11,5 heures pour une surface moyenne de 36 ha soit 30 minutes à l'hectare. Ce ratio est très proche de celui proposé dans le modèle pour le matériel retenu. Les pulvérisateurs de type pneumatique sont les plus répandus en viticulture, toutefois les observations montrent une tendance au pulvérisateur de type aéroporté à voûte droite issu du monde arboricole, ce type de pulvérisateur n'est pas pris en compte dans les modèles, car trop récent par rapport aux modèles.

Produits et doses

Dans le but de se placer dans le scénario pire-cas, la dose retenue pour l'étude est de 1500 g.ha^{-1} , qui est la dose maximale autorisée en viticulture (ACTA 2013), la forme granulée est utilisée car sur les 5 spécialités de folpel sur le marché, une seule n'est pas sous forme de granulée. Concernant la concentration en substance active, le Folpan SC® est ici utilisé pour la modélisation. Ce produit est exclusivement composé de folpel à 500 g.L^{-1} , pour une dose maximale de 1500 g.ha^{-1} . La quantité de produit est donc de $1500 \text{ g.L}^{-1} / 500 \text{ g.ha}^{-1} = 3 \text{ L.ha}^{-1}$.

La capture d'écran de la Figure 26 représente une partie de la zone de programmation du modèle :

THE GERMAN MODEL (GEOMETRIC MEAN VALUES)			
Application method	Tractor-mounted/trailed boom sprayer: hydraulic nozzles		
Product	Bloggo WG	Active substance	bloggo
Formulation type	WG	a.s. concentration	500 g/kg
Dermal absorption from product	100 %	Dermal absorption from spray	100 %
RPE during mix/loading	None	RPE during application	None
PPE during mix/loading	None		
PPE during application: Head	None	Hands	None
		Body	None
Dose	0,96 kg product/ha	Work rate/day	20 ha

Figure 26 : Modèle BBA programmé pour le folpel à 1500 g.ha^{-1} .

Les cases blanches et vertes sont librement paramétrables, contrairement au modèle UK-POEM (Figure 10). Une capture complète du modèle est disponible en Annexe VI.

Le modèle permet aussi de paramétrer la dose pénétrant à travers la peau. Très peu d'études sont disponibles pour estimer le passage du folpel à travers la peau. L'étude de Shah en 1987 chez l'animal a estimé -par l'utilisation de folpel marqué au Carbone 14- qu'en moyenne 12 % du folpel pénètre à travers la peau pour une application à faible dose ($0,1 \mu\text{mol.cm}^{-2}$ chez des rats jeunes et adulte) et entre 1 et 3 % pour les doses élevées ($0,5$ et $2,7 \mu\text{mol.cm}^{-2}$) (Shah, Fisher *et al.* 1987). L'étude de Berthet *et al.* donne des indications précises sur la transmission dermique du folpel (Berthet, Bouchard *et al.* 2011): chez l'animal l'étude indique que 1,8 % d'une dose de folpel administrée par la peau est retrouvée dans les urines sous forme de son métabolite. Devant les données actuelles et les incertitudes entourant la capacité du folpel à traverser la peau (US-EPA 1993a, 1999 ; EFSA 2009b), ce paramètre est laissé à 100 %, dans le but de protéger les individus. De ce fait, le modèle considère que toute la dose déposée sur la peau pénètre dans l'organisme.

5.2.3 Résultats des modélisations d'exposition

Le modèle a servi pour plusieurs simulations regroupées Tableau 25 :

Tableau 25 : Liste des 24 combinaisons de port des équipements de protection individuelle pour les différentes modélisations

PREPARATION	PULVERISATION	Modélisation Numéro
<i>Pas d'EPI</i>	Pas d'EPI	1
	Gants	2
	Combinaison	3
	Masque	4
	Gants + masque	5
	Gants + combinaison	6
	Combinaison + masque	7
	Gants + combinaison + masque	8
<i>Gants</i>	Pas d'EPI	9
	Gants	10
	Combinaison	11
	Masque	12
	Gants + masque	13
	Gants + combinaison	14
	Combinaison + masque	15
	Gants + combinaison + masque	16
<i>Gants + Masque</i>	Pas d'EPI	17
	Gants	18
	Combinaison	19
	Masque	20
	Gants + masque	21
	Gants+ combinaison	22
	Combinaison + masque	23
	Gants+ combinaison + masque	24

24 modélisations sont effectuées, allant du port d'aucun équipement de protection, à un port total des EPI durant toutes les phases du traitement. Entre ces extrêmes, des simulations intermédiaires ont été réalisées avec différents degrés d'utilisation des EPI selon les étapes du traitement et les produits utilisés.

Résultats selon les scénarios

Le Tableau 26 présente les doses d'exposition calculées par le modèle pour le folpel pour les 24 scénarisations proposées tableau précédent.

Tableau 26 : Résultats des modélisations selon l'usage des EPI

Modélisation numéro :	Préparation	Pulvérisation	Exposition totale
			(mg.kg ⁻¹ .j ⁻¹)
1	Pas d'EPI	Pas d'EPI	1,90
2		Gants	1,74
3		Combi	1,25
4		Masque	1,90
5		Gants + masque	1,74
6		Gants + combinaison	1,09
7		Combinaison + masque	1,25
8		Gants+ combinaison + masque	1,09
9	Gants	Pas d'EPI	0,89
10		Gants	0,72
11		Combi	0,23
12		Masque	0,88
13		Gants + masque	0,72
14		Gants + combinaison	0,07
15		Combi + masque	0,23
16		Gants + combinaison + masque	0,07
17	Gants + masque	Pas d'EPI	0,89
18		Gants	0,72
19		Combi	0,23
20		Masque	0,88
21		Gants + masque	0,72
22		Gants + combinaison	0,07
23		Combinaison+ masque	0,23
24		Gants + combinaisons + masque	0,07

Ce tableau indique l'importance de certains EPI dans la réduction du risque pour le scénario développé. Le simple port des gants, lors de la préparation, suffit à réduire par un facteur 2 l'exposition totale (modélisation 9vs.1). Pour le folpel, l'utilisation des masques ne réduit pas l'exposition : les valeurs d'exposition sont identiques lors de l'ajout du masque quelle que soit l'étape du traitement. Le port des gants et de la combinaison réduit sensiblement l'exposition (modélisation 14). Ces résultats serviront par la suite pour évaluer le risque.

La perception du risque influe sur les pratiques de sécurité que sont le port des EPI. Ce port influe significativement sur l'exposition des viticulteurs.

Plusieurs constatations peuvent être faites à ce stade :

-Les EPI ont un impact très différent selon le type (masque, gants ...). Le masque a une influence minime sur l'exposition totale, avec les produits sous forme liquide. Ceci est en contradiction avec la perception des viticulteurs précédemment présentée et la place importante qu'ils accordent à la voie respiratoire et au respect du port du masque.

-Les gants apparaissent comme les EPI les plus importants dans la réduction de l'exposition lors du traitement, quelle que soit l'étape du processus.

-Les recommandations faites par les fabricants assurent la réduction du risque et le maintien de l'exposition en deçà de l'AOEL. Les fiches de données de sécurité (voir Annexe III) des produits phytopharmaceutiques à base de folpel recommandent un port complet des équipements.

Au vu des modèles, ces recommandations apparaissent surprotectrices.

Les EPI sont fréquemment citées comme peu adaptés aux conditions de travail. La chaleur et l'inconfort liés à ces équipements sont souvent cités comme cause de non port de ceux-ci.

Ce résultat renseigne sur l'importance de bien faire passer les connaissances sur le risque. Si un agriculteur accepte de porter un masque, plus contraignant niveau confort que les gants, celui-ci s'avère peu utile pour le folpel comparativement aux gants. La « bonne volonté » du viticulteur n'assure qu'une faible réduction du risque réel. Les modélisations Tableau 26 montrent que le masque ne réduit pas l'exposition au folpel. Cette « énergie » dépensée par le viticulteur pour se protéger peut être optimisée en la guidant vers des pratiques de sécurité réellement efficaces, comme le port des gants ou de la combinaison pour ce produit.

5.3 Caractérisation du risque

Les précédentes parties de ce travail ont porté sur l'identification des dangers et la mesure de l'exposition aux produits phytopharmaceutiques des viticulteurs.

Cette partie propose de caractériser le risque lié à l'usage du folpel chez les viticulteurs en fonction des pratiques de sécurité en lien avec la perception, cette caractérisation passe par le développement d'un modèle de caractérisation du risque réel (MERR). Ce modèle ne doit pas être confondu avec les modèles d'exposition UK-POEM ou BBA utilisés, lors de l'estimation de l'exposition.

5.3.1 Développement du modèle d'évaluation du risque réel

Objectifs du MERR

Plusieurs objectifs sont déterminés :

- Quantifier le rôle des EPI dans la réduction du risque selon leurs utilisations,
- Évaluer l'importance des paramètres issus de la perception du risque sur le risque réel,
- Observer un excès de risque ou non en rapport avec la perception.

Création du MERR selon la perception du risque

Plusieurs scénarios d'exposition sont développés afin de couvrir les comportements de sécurité influencés par la perception. Les facteurs observés lors de la partie sur la perception du risque et de l'évaluation du risque réel sont repris ici et adaptés aux observations de terrain :

- Port des EPI : il est proposé comme étant l'élément majeur influencé par la perception, cette influence sur l'exposition est étudiée ici en évaluant plusieurs niveaux d'exposition selon l'usage des EPI observés.
- Durée des traitements : ils durent 8 heures d'après le modèle de mesure d'exposition (BBA). Cependant, les enquêtes indiquent qu'en moyenne il faut 11,24 heures pour traiter une exploitation. Le modèle d'évaluation du risque développé prend en compte la différence de

temps entre le modèle d'exposition et le temps nécessaire pour traiter une exploitation. Dans le modèle de caractérisation du risque créé, la durée des traitements est paramétrable afin de pouvoir rapidement adapter le modèle selon les caractéristiques des exploitations observées.

-Surface : la surface est aussi paramétrable dans le modèle d'exposition. En effet, la surface conditionne le nombre de préparations de bouillie à effectuer. La surface rapportée dans le modèle (20 ha) est pondérée par la vitesse de traitement (20ha par jours, fixée par le modèle BBA) pour calculer le risque associé. Le modèle d'évaluation du risque intègre un ratio surface/vitesse/nombre de traitements afin d'ajuster ces paramètres pour chaque exploitation analysée.

-Années d'expérience du viticulteur : Ce paramètre correspond au temps passé à travailler dans l'exploitation. La durée nécessaire de travail en France pour prétendre à la retraite à taux plein est, à l'heure actuelle, de 166 trimestres, soit 41,5 ans. Cette valeur est retenue comme durée maximale de travail dans l'exploitation pour le scénario « pire-cas ». Cette valeur est paramétrable dans le modèle créé afin de déterminer l'impact du nombre d'années de travail sur le risque encouru.

-Nombre de traitements annuels : 1, 2 ou 3, le nombre de traitements annuels pour le folpel étant limité à 3 par an. Le modèle de caractérisation du risque peut donner les résultats pour un, deux et trois traitements par an. Dans l'objectif « pire-cas », la valeur de 3 est retenue pour toutes les modélisations proposées dans ce travail.

-La VTR : une case VTR est prévue afin de pouvoir modifier cette valeur selon les besoins de l'étude.

Incertitudes sur les modélisations

La méthodologie de modélisation permet d'évaluer et caractériser le risque selon les paramètres de la perception. Cependant, les incertitudes entourant cette caractérisation du risque sont nombreuses. Ces incertitudes sont liées aux variations interindividuelles importantes des pratiques agricoles, et aux limites des données toxicologiques actuelles sur les produits phytopharmaceutiques.

Ainsi, les doses utilisées pour ce travail se basent sur un scénario pire-cas pour couvrir l'ensemble des pratiques agricoles, et être le plus protecteur possible dans les résultats. Les

traitements au folpel sont limités à 3 par an, mais cela s'observe peu en pratique. Les observations et entretiens indiquent que les viticulteurs utilisent d'autres molécules antifongiques et pratiquent la rotation des substances afin de limiter les résistances et maîtriser les coûts. Le cuivre, par exemple, est un antifongique largement plus utilisé que le folpel car moins coûteux. Le folpel est interdit sur les raisins rouges ce qui réserve son usage sur les blancs, non majoritaires en région bordelaise. Concernant les doses, les pratiques évoluent vers une pratique raisonnée, c'est-à-dire l'utilisation des produits phytopharmaceutiques lorsque cela est nécessaire et à des dosages adaptés et non de façon systématique aux dosages maximums autorisés. Les scénarios développés dans ce travail sont donc sur-exposants.

Ce paramètre d'utilisation limite la représentativité des résultats. Néanmoins, l'objectif de caractérisation du risque et de quantification de l'importance de la perception sur le risque est atteint.

5.3.2 Résultats selon les scénarios

Le premier scénario est le scénario « pire-cas » afin de prendre en compte l'exposition maximale d'un agriculteur en fonction du port des EPI. Ce scénario suppose l'utilisation de folpel à dose maximale autorisée, 3 fois par an, sur 41,5 années. La feuille de calcul avec les interactions et paramètres du modèle est donnée dans l'Annexe VI.

La caractérisation du risque qui découle de l'utilisation des EPI est variable selon le respect du port des EPI. Le tableau 46 indique l'Excès de Risque Individuel (ERI, voir Annexe XIII) lié à l'usage du folpel selon les conditions du scénario développé. Le Tableau 27 indique les excès de risque selon les scénarios.

Tableau 27 : ERI selon le port des EPI en fonction des étapes du traitement.

<i>EPI</i>		Exposition en mg.kg ⁻¹ .j ⁻¹	ERI
<i>PREPARATION</i>	PULVERISATION		
<i>Aucun</i>	Aucun	1,9	2,51 10 ⁻⁰⁵
	Gants	1,74	2,30 10 ⁻⁰⁵
	Combinaison	1,25	1,65 10 ⁻⁰⁵
	Masque	1,90	2,50 10 ⁻⁰⁵
	Gants + masque	1,73	2,29 10 ⁻⁰⁵
	Gants + combinaison	1,09	1,44 10 ⁻⁰⁵
	Combinaison + masque	1,25	1,64 10 ⁻⁰⁵
	Gants+ combinaison + masque	1,09	1,43 10 ⁻⁰⁵
<i>Gants</i>	Aucun	0,89	1,17 10 ⁻⁰⁵
	Gants	0,72	9,55 10 ⁻⁰⁶
	Combinaison	0,23	3,08 10 ⁻⁰⁶
	Masque	0,88	1,16 10 ⁻⁰⁵
	Gants + masque	0,72	9,48 10 ⁻⁰⁶
	Gants + combinaison	0,07	9,58 10 ⁻⁰⁷
	Combinaison + masque	0,23	3,01 10 ⁻⁰⁶
	Gants+ combinaison + masque	0,07	8,84 10 ⁻⁰⁷
<i>Gants + masque</i>	Aucun	0,89	1,17 10 ⁻⁰⁵
	Gants	0,72	9,55 10 ⁻⁰⁶
	Combinaison	0,23	3,08 10 ⁻⁰⁶
	Masque	0,88	1,16 10 ⁻⁰⁵
	Gants + masque	0,71	9,47 10 ⁻⁰⁶
	Gants + combinaison	0,07	9,54 10 ⁻⁰⁷
	Combinaison + masque	0,23	3,01 10 ⁻⁰⁶
	Gants+ combinaison + masque	0,07	8,81 10 ⁻⁰⁷

En surbrillance verte sont indiqués les cas où l'ERI est acceptable (en vert).

Les modélisations révèlent les excès de risque individuel associés à une exposition au folpel répétée 3 fois par an sur 41,5 années. Les résultats varient sensiblement selon l'usage des EPI.

Sans protection durant les traitements, et plus précisément durant la préparation, l'excès de risque est supérieur à 10⁻⁵.

Le simple port des gants lors de la préparation suffit à réduire le risque de façon sensible et sous la limite d'ERI de 10⁻⁵. Ce résultat confirme les prescriptions faites dans les fiches de données de sécurité du folpel, recommandant de porter des gants et une combinaison avec ces produits. Dans ce cas, le risque devient acceptable dans tous les cas aux doses autorisées maximales.

Ce résultat montre aussi l'impact nul du masque pour ce produit. L'utilisation d'un masque uniquement, que ce soit lors de la pulvérisation, de la préparation ou des deux n'a qu'un effet

minime sur la réduction du risque. Cela conforte les études sur les voies d'exposition, et le rôle négligeable de la voie respiratoire avec les formes liquides.

Selon les bonnes pratiques

La FDS du folpel, indique le port d'une combinaison, de gants, de bottes et de lunettes lors du traitement. Le port du masque est recommandé lors de la pulvérisation. Ce port d'équipement correspond au scénario 16 du Tableau 26. Dans ce cas, et pour l'utilisation décrite, donne une exposition de $0,067 \text{ mg.kg}^{-1}.\text{j}^{-1}$. Ceci représente 0,67 % de l'AOEL. Dans ce scénario d'utilisation, l'utilisation du folpel ne présente pas de risque dans le scénario pire-cas développé avec un ERI de $8,84 \cdot 10^{-7}$.

Ce résultat indique donc que le scénario et le modèle développés dans ce travail sont corrects puisque l'AOEL n'est pas dépassé, confirmant les résultats du rapport de l'ESFSA sur le folpel (EFSA 2009b), et appuyant sur l'intérêt du respect des bonnes pratiques recommandées par la FDS du folpel.

Cette validation de la méthode développée permet de modifier les paramètres des modélisations en fonction des résultats sur la perception du risque.

Selon les pratiques observées

La section sur les résultats de la perception des risques indique un port des EPI tributaire de la perception des risques. La Figure 24 sur le port des EPI en fonction des phases du traitement permet de sélectionner les scénarios les plus réalistes concernant le respect des EPI par les viticulteurs sous l'influence de la perception.

Lors de la préparation, le port des équipements est variable, avec cependant l'utilisation par la majorité des viticulteurs des gants, du masque et de la combinaison. Durant la pulvérisation, aucun EPI n'est porté (sauf si le tracteur n'est pas équipé de cabine). En se référant au Tableau 25, les modélisations 1, 9 et 14 et sont les plus représentatives de l'activité agricole.

Ces quatre scénarios sont proposés dans le Tableau 28:

Tableau 28 : Principales modélisations influencées par les pratiques agricoles et correspondance entre AOEL, exposition totale et ERI.

Numéro de modélisation	EPI		Exposition en mg.kg ⁻¹ .j ⁻¹	ERI	Pourcentage de l'AOEL
	Préparation	Pulvérisation			
1	Aucun	Aucun	1,9	2,51 10 ⁻⁵	190 %
9	Gants	Aucun	0,89	1,17 10 ⁻⁵	88,5 %
14		Gants+ combinaison + masque	0,07	8,84 10 ⁻⁷	6,7 %
16	Gants + masque	Aucun	0,89	1,17 10 ⁻⁵	88,5 %

La modélisation 14 correspond aux bonnes pratiques. Les cas 1, 9 et 16 sont les déviations observées par rapport aux bonnes pratiques. L'utilisation de gants seuls lors de la préparation réduit significativement le risque aux alentours du seuil d'acceptabilité de 10⁻⁵. Dans ce cas-ci, l'exposition demeure inférieure à l'AOEL. Déjà démontré lors de la présentation des résultats globaux des modélisations Tableau 26, le masque pourtant utilisé par près de 50 % des viticulteurs n'est d'aucune efficacité dans la réduction du risque lors de l'utilisation du folpel.

5.3.3 Influences d'autres paramètres sur l'exposition

Le scénario développé est de type « pire cas ». Celui-ci correspond à l'usage maximum autorisé du folpel. Afin d'affiner les résultats et de mettre en perspective l'influence des pratiques sur l'exposition par rapport à d'autres paramètres de la pratique agricole, plusieurs paramètres des modèles ont été évalués.

Doses de traitement

La dose maximale du folpel autorisé est de 1500 g.ha⁻¹. Plusieurs spécialités existent et combinent du folpel dans leur formulation. D'après l'ACTA, 14 spécialités contenant du folpel sont disponibles en France.

Le Tableau 29 récapitule ces spécialités et indique les dosages de folpel maximal par hectare autorisé :

Tableau 29 : Produits phytopharmaceutiques à base de folpel autorisés sur la vigne.

<i>Spécialité de folpel + ...</i>	Nom commercial	Forme	Qte folpel en %	Qte autre S.A en %	Dosage maximal autorisé en kg/ha de produit phytopharmaceutique	Équivalent folpel en g.ha ⁻¹
<i>benthiavalicarbei spropyl</i>	Vincare	Granulés	50	1,75	2	1000
<i>cuivre</i>	Cuprofix F	Poudre	30	12	5	1500
	Cuprofix F Disperess	Poudre	30	12	5	1500
	Cupror F	Poudre	35	7	4,3	1505
	Super MacclesfieldCuf 15-30	Poudre	30	15	5	1500
	Super Macclesfield F23,35	Granulés	23	35	4	920
	Crioram F	Poudre	24	9	4,5	1080
	Mycotox C	Poudre	25	12	6	1500
<i>mandipropamid</i>	Amphore F Pepite	Granulés	40	12	2,5	1000
	Gergovi F Pepite	Granulés	40	5	2,5	1000
	Pergado F Pepite	Granulés	40	5	2,5	1000
	Reguance F Pepite	Granulés	40	5	2,5	1000
<i>Métalaxyl-m</i>	Ridgold F	Granulés	40	4,85	2	800
					Moyenne	1177

Sur les 13 substances autorisées, les dosages en "équivalent folpel" sont proches des dosages valeurs maximales autorisées pour lutter contre le mildiou, qui sont compris entre 1000 et 1500 g.ha⁻¹. Au regard des concentrations en folpel de ces spécialités, le choix de la dose maximale autorisée (1500 g.ha⁻¹) dans le scénario des modélisations proposées est représentatif de l'activité agricole et protecteur vis-à-vis des populations cibles.

Forme des produits

Le tableau 30 indique aussi la forme des préparations commerciales à base de folpel. Celles-ci se partagent à moitié entre les poudres et les granulés. Le modèle BBA permet de faire la distinction entre liquides, poudres et granulés pour les modélisations. Les modélisations présentées précédemment se sont basées sur l'utilisation de produits sous formes granulées qui sont les plus représentatives du marché. En effet, sur les cinq spécialités de folpel pur, une seule est commercialisée sous forme de poudre.

Néanmoins, afin d'évaluer l'impact de la forme de poudre sur l'exposition, les scénarios développés sur le respect du port des EPI sont remodelisés avec l'usage de la forme de poudre. Le résultat est présenté Tableau 31.

Tableau 30 : Exposition et ERI selon le port des EPI vie professionnelle entière pour les formes poudreuses et granuleuses de folpel

<i>EPI</i>		GRANULÉS		POUDRES	
<i>PRÉÉPARATION</i>	PULVÉRISATION	Exposition BBA mg.kg ⁻¹ .j ⁻¹	ERI	Exposition BBA mg.kg ⁻¹ .j ⁻¹	ERI
<i>Pas d'EPI</i>	Aucun	1,9	2,51 10 ⁻⁵	3,48	4,55 10 ⁻⁵
	Gants	1,74	2,30 10 ⁻⁵	3,31	4,33 10 ⁻⁵
	Combi	1,25	1,65 10 ⁻⁵	2,82	3,69 10 ⁻⁵
	Masque	1,89	2,50 10 ⁻⁵	3,47	4,54 10 ⁻⁵
	Gants+masque	1,74	2,29 10 ⁻⁵	3,31	4,33 10 ⁻⁵
	Gants+combi	1,09	1,44 10 ⁻⁵	2,66	3,48 10 ⁻⁵
	combi+masque	1,25	1,64 10 ⁻⁵	2,82	3,69 10 ⁻⁵
	Gants+combi+masque	1,09	1,43 10 ⁻⁵	2,66	3,48 10 ⁻⁵
<i>Gants</i>	Pas d'EPI	0,89	1,17 10 ⁻⁵	0,93	1,22 10 ⁻⁵
	Gants	0,72	9,55 10 ⁻⁶	0,77	1,01 10 ⁻⁵
	Combi	0,23	3,08 10 ⁻⁶	0,28	3,65 10 ⁻⁶
	Masque	0,88	1,16 10 ⁻⁵	0,93	1,21 10 ⁻⁵
	Gants+masque	0,72	9,48 10 ⁻⁶	0,76	9,98 10 ⁻⁶
	Gants+combi	0,07	9,58 10 ⁻⁷	0,12	1,54 10 ⁻⁶
	combi+masque	0,23	3,01 10 ⁻⁶	0,27	3,58 10 ⁻⁶
	Gants+combi+masque	0,07	8,84 10 ⁻⁷	0,11	1,47 10 ⁻⁶
<i>Gants+Masque</i>	Pas d'EPI	0,89	1,17 10 ⁻⁵	0,90	1,18 10 ⁻⁵
	Gants	0,72	9,55 10 ⁻⁶	0,74	9,67 10 ⁻⁶
	Combi	0,23	3,08 10 ⁻⁶	0,25	3,26 10 ⁻⁶
	Masque	0,88	1,16 10 ⁻⁵	0,89	1,17 10 ⁻⁵
	Gants+masque	0,72	9,47 10 ⁻⁶	0,73	9,60 10 ⁻⁶
	Gants+combi	0,07	9,54 10 ⁻⁷	0,09	1,16 10 ⁻⁶
	combi+masque	0,23	3,01 10 ⁻⁶	0,24	3,19 10 ⁻⁶
	Gants+combi+masque	0,07	8,81 10 ⁻⁷	0,08	1,08 10 ⁻⁶

Les modélisations indiquent une augmentation significative de l'exposition avec la forme poudre du folpel, principalement lorsqu'aucun EPI n'est porté lors de la préparation. L'ajout de gants lors de la préparation suffit à ramener pour les formes poudreuses et granulés des valeurs d'exposition analogues. Ce tableau indique aussi qu'à EPI égaux, les formes poudreuses sont considérées comme les plus exposantes.

L'excès de risque associé aux forme poudreuses et sans protection lors de la préparation est sensiblement augmenté par rapport à l'usage des produits en version granulés. Cet aspect démontre que le risque réel est bien influencé par la forme des produits.

5.4 Observation des traitements

L'observation des traitements correspond à la seconde partie de la présentation des résultats. Cette partie présente les résultats des mesures d'exposition aux produits phytopharmaceutiques réalisés chez les viticulteurs lors des traitements. Dans la précédente partie, la caractérisation du risque a été faite selon des mesures d'exposition modélisées et des paramètres évalués lors d'enquêtes.

Dans cette partie, l'exposition retenue pour la caractérisation du risque a été mesurée sur le terrain et chaque agriculteur a été interrogé sur ses pratiques et sa perception du risque.

5.4.1 Recrutement des viticulteurs

Les viticulteurs interrogés en 2011 ont été contactés début 2012, avant le début des traitements pour une observation de ceux-ci. Les viticulteurs ayant accepté d'être observés sont ensuite sélectionnés en fonction des produits qu'ils utilisent et des traitements prévus. La partie suivante détaille les produits recherchés lors des mesures de terrain.

5.4.2 Produits recherchés

Lors des contacts téléphoniques avec les viticulteurs, ceux utilisant du folpel sont ciblés en priorité. Le folpel est retenu pour ses effets toxicologiques suspectés et sa large utilisation en viticulture. Lors des entretiens de 2011, le folpel est le fongicide (encore autorisé sur le marché) le plus souvent indiqué en réponse à la question « *pouvez-vous me citer les produits phytopharmaceutiques qui vous paraissent les plus dangereux à l'usage* ». L'odeur caractéristique forte du folpel est fréquemment citée pour expliquer la toxicité perçue de cette substance. Certains effets sanitaires comme des irritations oculaires et dermiques à l'usage sont aussi présentés par des viticulteurs pour justifier leur méfiance face à ce produit. La perception négative de ce produit en fait un bon candidat pour l'évaluation.

Par opposition le cuivre est perçu comme non dangereux par les viticulteurs. C'est un fongicide d'origine naturelle qui est aussi autorisé en agriculture biologique : ces deux arguments, fréquemment cités lors de l'enquête de 2011, sont à l'origine de l'idée que le

cuivre n'est pas dangereux pour la santé des viticulteurs. Au niveau risque réel, le cuivre n'est pas une substance connue pour être cancérigène et ne présente pas de toxicité chronique ou aiguë à l'exception des intoxications massives (tentatives de suicides par absorption massive de produit) au cuivre et des conjonctivites.

Les risques perçu et réel du folpel et du cuivre sont présentés Tableau 31 :

Tableau 31 : résumé des risques réels et perçus du cuivre et du folpel

Risque	Folpel		Bouillie bordelaise / cuivre	
	Perçu	Réel	Perçu	Réel
Toxicité	Forte	Suspecté d'être cancérigène	Nulle	Faible
Cause	Odeur et efficacité	Thiophosgène (probable)	S.A « naturelle »	Intoxication au cuivre
Effets	« Importants »	Irritations	Aucun	Conjonctivite

Le choix de ces deux substances présente plusieurs intérêts pour ce travail :

- Observer un décalage ou non entre les bonnes pratiques prescrites et celles réelles sur le terrain par l'observation des comportements avec différents produits.
- Pour le folpel, l'ensemble des données toxicologiques est disponible pour effectuer une évaluation du risque.

5.4.3 Mesures d'exposition

19 exploitations ont été observées en 2012. Sur ces 19 exploitations, 13 observations ont permis de recueillir des données utilisables de ce travail. Au total, 52 échantillons sur les mains des viticulteurs ont été prélevés et 32 échantillons de cabine ont pu être recueillis.

5.4.3.1 Caractéristiques des échantillons

Les doses employées, le type de produit, la surface traitée et le port des EPI lors des différentes étapes du traitement sont les paramètres recueillis sur le terrain. La combinaison de chacun de ces paramètres rend le scénario d'utilisation unique pour chacun d'entre eux. Cette partie récapitule l'ensemble des paramètres recueillis sur le terrain pour chaque exploitation.

Produits employés, surfaces traitées et quantités de substances actives pures manipulées

Le Tableau 32 récapitule, pour les 13 exploitations, les produits employés et les quantités totales de cuivre ou de folpel pures manipulées.

Tableau 32 : Produits employés, des dosages et quantités manipulées par exploitations.

<i>Numéro d'agriculteur</i>	Produits	DOSES EMPLOYÉES PAR TRAITEMENT			
		Surface traitée en ha	g/l ou par g/kg de SA pure	l ou kg de produit / ha	Quantité totale de cuivre ou folpel manipulée en g
1	Nordox 75 ²⁰	10	750	0,7	5250
	BB		200	2,5	5000
	Total			TOTAL ->	10250
2	Folpel	10	480	2,88	13824
		6	480	2,88	8294
		2	480	2,88	2764
				TOTAL ->	24883
3	Folpel	6	800	1,9	9120
	BB		200	3,75	4500
4	BB	13	200	3,75	9750
5	Nordox 75	1	750	0,3	225
	BB		200	1,5	300
	Total			TOTAL ->	525
6	Nordox 75	8	750	0,31	1860
	BB		200	1,8	2880
				TOTAL ->	4740
7	BB	24	360	1	8640
	Nordox 75		750	0,5	9000
	Total			TOTAL ->	17640
8	Nordox 75	10	750	0,5	3750
	BB		200	1,5	3000
				TOTAL ->	6750
9	Bb	8	200	1,5	2400
10	Bb	10	200	1,5	3000
11	Nordox 75	3	750	0,5	1125
	BB		200	1,5	900
	Total Cuivre			TOTAL ->	2025
12	BB	12	200	3,75	9000
13	BB	9	203	3	5481
	Folpel	9	500	3	13500

BB = bouillie bordelaise

²⁰Le Nordox 75[®] est une préparation à base de cuivre aux effets identiques à ceux de la bouillie bordelaise, mais moins lessivable que la bouillie. Plus onéreux que la bouillie bordelaise, il est souvent associé à celle-ci dans le but d'augmenter la durée d'action du traitement.

12 traitements au cuivre et 4 au folpel ont été observés. Les quantités totales manipulées par exploitation varient selon la surface à traiter. Les quantités de produit pur manipulées varient entre 0,525 kg de cuivre et 24,9 kg de folpel dans une journée.

Usage des équipements de protection individuels et vêtements de travail

Sur les 14 opérateurs observés, 12 ont utilisé des équipements de protection à l'une des étapes du traitement. Seuls deux opérateurs n'ont pas employé d'EPI pour les différentes étapes du traitement, et n'ont pu être observés. Ceci est récapitulé Tableau 33.

Tableau 33 : Port des EPI selon les étapes du traitement lors des mesures d'exposition

<i>EPI Utilisé</i>	Préparation n=12	Pulvérisation n=13	Nettoyage n= 3
<i>Aucun</i>	2	11	0
<i>Gants</i>	2	1	0
<i>Gants, combinaison</i>	4	1	1
<i>Lunettes, gants, combinaison, masque</i>	3	0	0
<i>Masque, gants, combinaison</i>	1	0	0
<i>Lunettes, combinaison</i>	0	0	1
<i>Lunettes, gants, combinaison</i>	0	0	1

Concernant les vêtements de travail portés sous les EPI, 6 opérateurs portent un short et un t-shirt, et 8 un pantalon et un t-shirt, comme cela est indiqué Tableau 34.

Tableau 34 : Vêtements portés lors du traitement.

<i>Opérateur</i>	EPI porté lors du remplissage	Sous les EPI
<i>1</i>	0	Pantalon, T-shirt
<i>2</i>	C+G+M	Pantalon, T-shirt
<i>3</i>	T+G	Short, T-shirt
<i>4</i>	C+G	Short, T-shirt
<i>5</i>	G	Pantalon, T-shirt
<i>6</i>	C+G+M	Pantalon, T-shirt
<i>7</i>	Opérateur A T+G+M	Pantalon, T-shirt
	Opérateur B G	Pantalon, T-shirt
<i>8</i>	C+G+M+L	Short, T-shirt
<i>9</i>	C+G	Short, T-shirt
<i>10</i>	T+G+M+L	Short, T-shirt
<i>11</i>	C+G+M	Pantalon, T-shirt
<i>13</i>	C+G	Pantalon, T-shirt
<i>13</i>	0	Short, T-shirt

C= Combinaison, G=Gant, L = Lunette, M= Masque respiratoire T= Tablier

Les vêtements utilisés ne sont pas spécifiques aux traitements. Un seul agriculteur disposait d'une machine à laver et d'une gestion du linge séparée de celle du reste de la famille. Aucun

agriculteur observé ne considère le vêtement comme utile pour réduire son exposition. Cet aspect n'est pas à prendre en compte pour l'évaluation de la perception des risques.

Le Tableau 35 indique le numéro d'échantillon de chacun des 52 prélèvements réalisés, le type d'EPI porté à chaque étape du traitement, les produits prélevés et le support du prélèvement (peau ou gants).

Tableau 35 : Échantillonnage des prélèvements

<i>Numéro d'exploitation.</i>	Nombre d'échantillons	Numéro d'échantillon	Etape	Matrice	EPI portés	PP Utilisé
1	3	1	Avant toute manipulation	P	0	Cu
		2	Fin remplissage	P	0	Cu
		3	Fin traitement	P	0	Cu
2	6	4A	Avant toute manipulation	G	L M G C	F
		4B	Avant toute manipulation	G	L M G C	F
		4C	Avant toute manipulation	G	L M G C	F
		5A	Fin remplissage	G	L M G C	F
		5B	Fin remplissage	G	L M G C	F
		5C	Fin remplissage	G	L M G C	F
3	5	6	Avant toute manipulation	P	G T	
		7A	Fin remplissage	P	G T	F
		7B	Fin remplissage	P	G T	Cu
		8A	Fin traitement	P	0	F
		8B	Fin traitement	P	0	Cu
4	3	9	Fin remplissage	P	G C M	Cu
		10	Fin traitement	P	0	Cu
		11	Fin nettoyage	P	G* C	Cu
5	4	12	Avant toute manipulation	P	G	
		13	Fin remplissage	P	G	Cu
		14	Fin du traitement	P	0	Cu
		15	Fin nettoyage	P	L T	Cu
6	3	16	Avant toute manipulation	P	G C	
		17	Fin remplissage	P	G C	Cu
		18	Fin traitement	P	0	Cu
7	2	19A	Fin remplissage	P	G	Cu
		19B	Fin remplissage	P	G	Cu
8	4	20	Avant toute manipulation	P	L M G C	
		21G	Fin remplissage	G	L M G C	Cu
		21M	Fin remplissage	P	L M G C	Cu
		22	Fin traitement	P	0	Cu
9	4	23	Avant toute manipulation	P	C G	
		24G	Fin remplissage	G	C G	Cu
		24M	Fin traitement	P	C G*	Cu
		25	Fin nettoyage	P	C G L	Cu
10	3	26	Avant toute manipulation	P	M G B	
		27	Fin remplissage	G	M G B	Cu
		28	Fin traitement	P	0	Cu
11	5	29	Avant toute manipulation	P	M G C	Cu
		30G	Fin remplissage	G	M G C	Cu
		30M	Fin remplissage	P	M G C	Cu
		31G	Fin traitement	G	M G	Cu
		31M	Fin traitement	P	G	Cu
12	5	32	Avant toute manipulation	P	T G	
		33A	Fin remplissage	G	T G	Cu
		33B	Fin remplissage	M	T G	Cu
		34A	Fin traitement	G	0	Cu
		34B	Fin traitement	M	0	Cu
13	5	35	Avant toute manipulation	M	0	
		36A	Fin remplissage	M	0	F
		36B	Fin remplissage	M	0	Cu
		37A	Fin traitement	M	0	F
		37B	Fin traitement	M	0	Cu

P = Peau, G = Gants, M = Masque ; C = Combinaison, L = Lunettes, T = Tablier, Cu = Cuivre, F = Folpel.*port incomplet ou EPI retiré en cours d'utilisation

Ce tableau indique que les échantillonnages n'ont pas pu être réalisés au complet pour chaque traitement. Lors des mesures de terrain, les prélèvements prévus étaient au nombre de 4 (avant toute manipulation, fin de remplissage, fin de traitement et nettoyages). Cependant, il n'a pas toujours été possible de réaliser l'ensemble des prélèvements, pour plusieurs raisons :

- Bien qu'il ait été demandé, lors de la prise de rendez-vous, de ne pas commencer les traitements avant notre arrivée, certains viticulteurs n'ont pas attendu avant de commencer la préparation de la bouillie, ne permettant pas de réaliser le point de prélèvement avant toute manipulation.

- Pas de nettoyage du matériel systématique. De nombreux viticulteurs ne nettoient pas leur matériel en fin de traitement. Dans ce cas, le prélèvement n'est pas possible.

- Délégation et répartition des tâches : la personne qui prépare n'est pas celle qui traite. Il n'est pas toujours possible de faire l'ensemble des prélèvements dans ce cas (en cause, la contrainte organisationnelle des prélèvements). Les prélèvements se limitent à la préparation de la bouillie. Ce cas est fréquent dans les grands châteaux où le chef de culture prépare les bouillies pour une pulvérisation par des tractoristes (cas de l'exploitation numéro 2 par exemple).

Parallèlement aux mesures d'exposition, un questionnaire a été complété. Ce questionnaire est disponible en annexe V, et a pour but :

- De vérifier le déclaratif des entretiens de 2011. La question sur le port des EPI est renouvelée en 2012 afin de voir si les réponses données en 2011 sont confirmées.

- D'observer le port réel des EPI, afin de mettre à jour une différence entre ce qui est déclaré et ce qui est réellement fait.

- De collecter les informations nécessaires à l'analyse des résultats des dosages des échantillons, telles que les doses, les références des produits employés ou encore le temps passé sur la parcelle.

- De noter les éventuels incidents concernant le traitement.

- De relever le risque perçu avec les produits utilisés : une question est posée sur la dangerosité estimée des produits employés lors du traitement. Ceci afin de pouvoir comparer les pratiques

en fonction du degré de dangerosité estimé des produits et pour détecter des pratiques de sécurité propres à chaque produit.

5.4.3.2 Analyse des échantillons

Les dosages ont été confiés au laboratoire PHYTOCONTROL. Certifié COFRAC²¹, ce laboratoire est spécialisé dans le dosage des résidus de produits phytopharmaceutiques.

La limite de quantification pour le cuivre est de 0,2 mg.kg⁻¹ et de 0,01 mg.kg⁻¹ pour le folpel et le phtalimide. Le dosage du phtalimide a été demandé, puisque c'est un produit de dégradation du folpel (US-EPA 1999 ; Gordon, Ehrlich *et al.* 2001 ; EFSA 2009a).

Un échantillon "blanc" a été analysé pour s'assurer de la fiabilité de la méthode. Les échantillons ont été anonymisés via un numéro d'identification unique avant envoi. Le laboratoire n'a pas eu connaissance du type de prélèvement, de l'étape du traitement à laquelle le prélèvement a été fait ou des quantités attendues.

5.4.4 Incertitudes sur les mesures de l'exposition et caractérisation du risque

La méthode développée pour la mesure de l'exposition se base sur des prélèvements sur les mains des viticulteurs. Les études d'exposition des viticulteurs s'accordent à dire que l'exposition dermique est à elle seule responsable de la majorité de l'exposition, de 50 % à plus de 90 % de l'exposition totale (Aprea, Terenzoni *et al.* 2004 ; Lebailly, Bouchart *et al.* 2009 ; Ngo, O'Malley *et al.* 2010). Les prélèvements effectués sur les mains sont considérés comme représentatifs de l'exposition totale des viticulteurs. Cependant, la méthode de prélèvements, fait appel à des techniques dont la capacité de récupération des produits phytopharmaceutiques sur la peau n'est pas complète (Fenske 1993 ; Fenske, Schulters *et al.* 1998). Pour compenser, les scénarios d'utilisation surévaluent l'utilisation des produits phytosanitaires, avec des utilisations systématiques chaque année aux doses maximales autorisées. En pratique, les résultats des prélèvements de terrain sont cohérents avec les modélisations concernant la réduction de l'exposition par l'utilisation des gants, réduisant sensiblement l'exposition chez les utilisateurs de cet EPI. Hors perception, les paramètres

²¹ Accréditation n° 1-1904.

observés qui influencent l'exposition, comme le nombre de remplissages et la quantité manipulée de produits phytopharmaceutiques, correspondent à ce qui a été déjà observé dans des cultures similaires en France (Baldi, Lebailly *et al.* 2006 ; Lebailly, Bouchart *et al.* 2009 ; Vitali, Protano *et al.* 2009). Les mesures d'exposition ont aussi porté sur les contaminations des cabines des viticulteurs lors des traitements. Les résultats coïncident avec d'autres études indiquant que les cabines sont contaminées avant le traitement, et que cette contamination a aussi lieu lors de la pulvérisation (Bémer, Fismes *et al.* 2007).

5.5 Perception et exposition

Pour analyser les résultats plusieurs données sont disponibles :

1/ Les résultats des dosages du laboratoire. Pour chaque échantillon, les résultats fournis par le laboratoire sont entrés dans un tableur comprenant l'ensemble des informations disponibles sur l'exploitation : la surface traitée, les doses employées, l'expérience de l'opérateur, le type de pulvérisateurs etc. Cette première approche se base sur des facteurs mesurables, et quantifiables. Ce premier point doit permettre de déterminer s'il existe un lien entre exposition et l'un des facteurs mesurés.

2/ Les notes lors des observations et le questionnaire. Lors du traitement, de nombreuses observations ont été consignées pour interpréter les résultats. Des notes sur les échanges avec les viticulteurs sont consignées. Le questionnaire et les observations doivent permettre de comparer ce qui a été observé durant les traitements, avec les entretiens de 2011.

3/ Les vidéos. Après accord de l'opérateur, l'intégralité du traitement a été filmée. Ces vidéos fournissent de nombreuses informations sur le comportement du viticulteur et ses pratiques. Les vidéos permettent de compter les contacts de l'opérateur avec divers éléments de son environnement de travail, de chronométrer chaque tâche, d'évaluer la méthode de travail de chaque opérateur, et de vérifier l'usage des EPI selon les phases du traitement.

La trame de fond d'interprétation de l'ensemble de ces données est le mécanisme de perception et d'acceptation des risques tels qu'il est défini dans le chapitre II. Les comportements ne sont pas mesurables directement, comme peuvent l'être une dose ou un temps passé à traiter. La Figure 27 récapitule le processus méthodologique développé pour analyser les résultats.

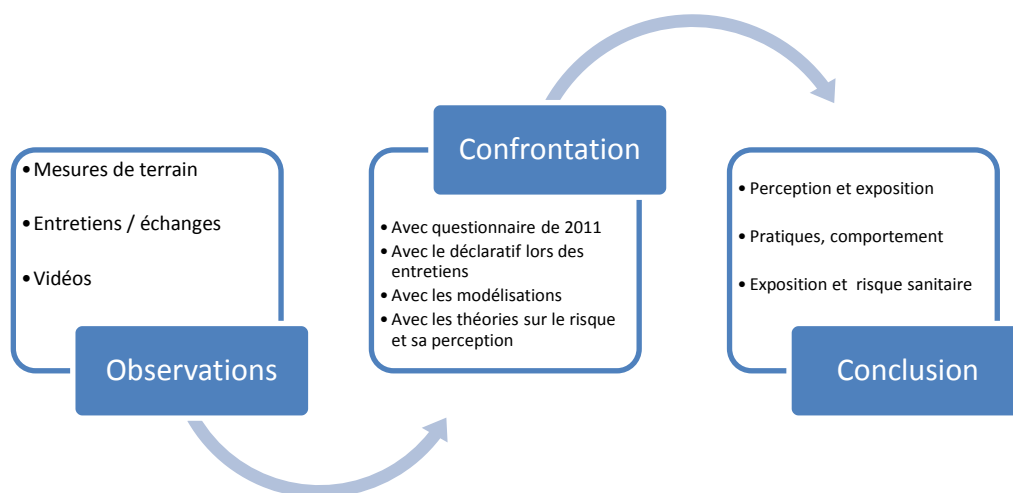


Figure 27 : Méthodologie d'analyse des observations de terrain

5.5.1 Dosages des échantillons

58 échantillons ont été réalisés chez 13 agriculteurs en juin, juillet et Aout 2012. Les résultats bruts des dosages des échantillons sont rapportés Tableau 36. Pour le folpel et le phtalimide, les résultats sont donnés séparément par le laboratoire. Afin de connaître le taux de contamination au folpel total au moment des traitements, les doses de phtalimide sont converties en équivalent de folpel et additionnées avec les quantités de folpel dosées par le laboratoire. Les conversions sont disponibles en annexe IX. Le Tableau 36 suivant récapitule l'ensemble des dosages, les numéros d'échantillons, le support du prélèvement (sur la peau ou sur les gants) l'usage des EPI à chaque étape du traitement.

Tableau 36 : Résultats des dosages des échantillons

CUIVRE																
EXPLOITATION	1/ AVANT TOUTE MANIPULATION				2/ FIN PREPARATION BOUILLIE				3/ FIN TRAITEMENT				4/FIN NETTOYAGE			
	Epi porté	Support	Ech.	Dose en mg	Epi porté	Support	Ech.	Dose en mg	Epi porté	Support	Ech.	Dose en mg	Epi porté	Ech.	Dose en mg	TOTAL en mg
1	0	P	1	0,16	0	P	2	27,67	0	P	3	8,46	Pas de nettoyage			36,29
3	G T	P	6	0,27	G T	P	7A	0,38	0	P	8A	0,37	Pas de nettoyage			1,02
					G T	P	7B	0,47	0	P	8B	0,55				1,02
4					G* C M	P	9	10,01	0	P	10	6,92	G* C	11	4,823	21,75
5	G	P	12	0,86	G	P	13	0,55	0	P	14	3,40	L T	15	5,67	10,48
6	G C	P	16	0,17	G C	P	17	2,56	0	P	18	0,23				2,96
7	Pas de prélèvement				G	P	19A	0,19					Pas de nettoyage			0,19
					G	P	19B	1,26								1,26
8	L M G C	P	20	0,06	L M G C	G	21G	22,50	0	P	22	1,00	Pas de nettoyage			23,56
					L M G C	P	21M	0,04								0,04
9	C G	P	23	0,06	C G	G	24G	4,97	C G*	P	24M	2,21	C G L	25	15,15	22,38
10	M G B	P	26	0,14	M G B	G	27	65,80	0	P	28	2,23				68,17
11	M G C	P	29	0,67	M G C	G	30G	1234,41	G	G	31G	25,30	Pas de nettoyage			1260,37
					M G C	P	30M	9,78	G	P	31M	11,12				20,89
12	T G	P	32	0,51	T G	P	33A	3,08	0	P	34A	0,88	Pas de nettoyage			4,47
					T G	P	33B	0,11	0	P	34B	3,00				3,11
13	0	P	35	2,58	0	P	36A	4,91	0	P	37A	5,34	Pas de nettoyage			12,83
					0	P	36B	9,68	0	P	37B	6,55				16,23
FOLPEL TOTAL																
EXPLOITATION	1/ POINT ZERO				2/ FIN PREPARATION				3/ FIN TRAITEMENT				FIN DU NETTOYAGE			TOTAL
	Epi porté	Support	Ech.	Dose en mg	Epi porté	Support	Ech.	Dose en mg	Epi porté	Support	Ech.	Dose en mg	Pas de nettoyage			en mg
2	L M G C	G	4A	0,03	L M G C	G	5A	499,33	Pas de traitement.							499,36
	L M G C	G	4B	0,25	L M G C	G	5B	3195,43								3195,68
	L M G C	G	4C	0,02	L M G C	G	5C	401,84								401,86
3	G T	P	6	1,11	G T	P	7A	70,21	0	P	8A	30,00				101,32
					G T	P	7B	15,09	0	P	8B	0,06				15,15
13	0	P	35	0,06	0	P	36A	350,89	0	P	37A	233,98				584,93
					0	P	36B	59,68	0	P	37B	33,71				93,39

Note : Tous les prélèvements lors du nettoyage sont faits sur la peau.

C = Combinaison, G = Gants, L = Lunettes, M = Masque, OP = opérateur, P = Peau, T = Tablier, TT = Traitement.

* = port incomplet de l'EPI, ou retiré en cours d'utilisation. Ech. = échantillon numéro X.

Sur les 13 exploitations observées, 14 opérateurs ont pu être échantillonné lors d'au moins une des étapes du traitement. 58 prélèvements ont été réalisés au total. Pour deux exploitations, seules les préparations de bouillies ont pu être observées, la pulvérisation étant réalisée par une autre personne qu'il n'a pas été possible de suivre. 3 nettoyages de pulvérisateurs en fin de traitement ont été observés.

Pour visualiser les écarts d'exposition, la Figure 28 indique les valeurs minimales, maximales, médianes et quartiles supérieurs et inférieurs pour les traitements au cuivre, à EPI identiques, lors des 3 points de mesures²².

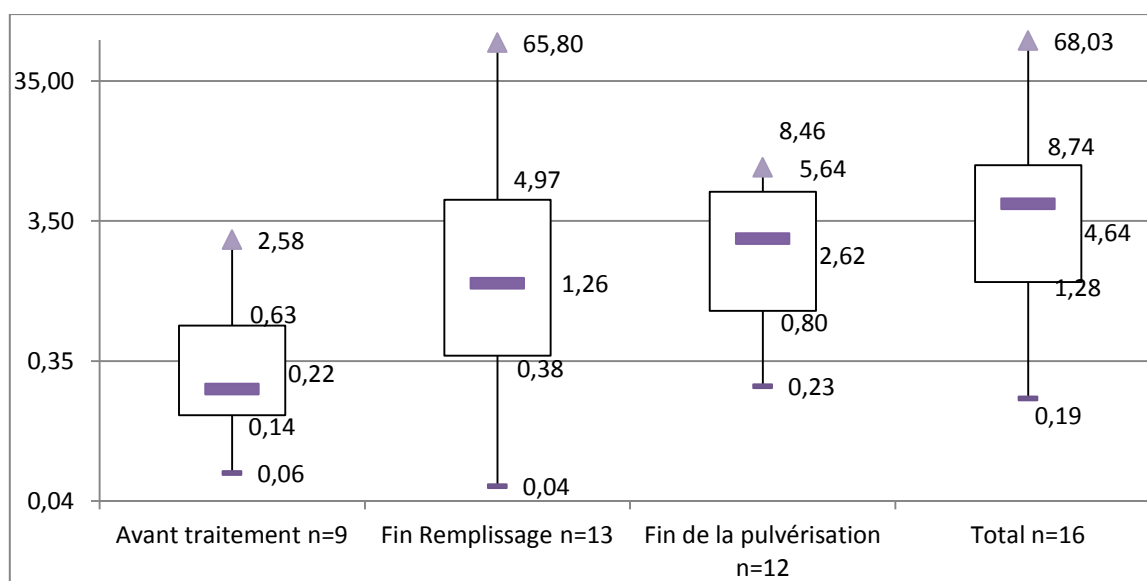


Figure 28 : Valeurs minimales, maximales, médianes et quartiles des expositions mesurées pour le cuivre. Échelle logarithmique. Valeurs exprimées en mg.

Le graphique indique des écarts d'exposition significatifs selon les étapes du traitement. Les plus grands écarts sont observés lors du remplissage de la cuve. Il apparaît aussi que l'étape de préparation expose en moyenne les opérateurs dans les mêmes proportions que celle de la pulvérisation. Les écarts durant cette phase sont cependant moins importants que lors du remplissage.

²² Cette figure regroupe les valeurs mesurées sur la peau chez les agriculteurs utilisateurs de gants lors du remplissage et d'aucun EPI lors du traitement.

5.5.2 Comportement et exposition

Une contamination par l'environnement de travail

Les prélèvements avant toute manipulation indiquent tous une contamination des mains des viticulteurs. Ces échantillons contiennent tous des traces de produits phytopharmaceutiques traduisant une contamination de l'environnement de travail du viticulteur par ces produits phytopharmaceutiques. Avant ce prélèvement le viticulteur a eu d'autres activités, comme conduire son tracteur sur le lieu de remplissage.

Un lavage incomplet ou inefficace des mains et/ou une contamination entre le lavage des mains et le prélèvement explique la présence de produits phytopharmaceutiques à ce stade du traitement. L'ensemble des viticulteurs observés ont au préalable utilisé du folpel ou du cuivre dans la saison, ce qui explique la présence de celui-ci dans l'environnement de travail.

Processus de la contamination de l'environnement :

Plusieurs cas observés permettent de décrire le processus d'exposition lié à l'environnement, et, parmi ces pratiques, certaines sont directement liées à la perception du risque.

Le cas de l'exploitation **numéro 4** est intéressant (échantillons 4A, 4B et 4C). Cet agriculteur a effectué 3 préparations identiques de bouillie avec un produit à base de folpel. Seul le volume total de bouillie préparée est différent. À chaque mesure avant toute manipulation, et comme pour tous les opérateurs observés, une paire de gants neuve lui a été fournie après lavage des mains à l'eau et au savon. Du folpel est pourtant retrouvé dans chaque dosage sur les gants à ce stade. Pour le premier et le dernier traitement, les doses des mesures avant toute manipulation (échantillons 4A et 4C) sont très faibles, proches de la limite de quantification du laboratoire pour ce produit. Le second traitement indique une contamination de départ plus importante, indiquant une contamination des gants par la peau non totalement éliminée par le lavage des mains, ou une contamination du robinet du point d'eau où il s'est lavé les mains. Cet agriculteur n'a pas conduit de tracteur, puisque un tractoriste a effectué la pulvérisation. Ceci indique une contamination du lieu de stockage et de préparation de la bouillie, les deux seuls lieux qu'il a fréquentés le jour des observations.

Le viticulteur 5, montre aussi une contamination par l'environnement. Les vidéos indiquent que lors de la pulvérisation, le viticulteur n'a eu aucun contact avec le pulvérisateur, à

l'exception de l'amorçage de la turbine (une poignée à tourner, située à l'extérieur du pulvérisateur). Cet amorçage est une étape classique et nécessaire au traitement, effectuée avant d'entrer dans la parcelle. À ce moment, aucune bouillie n'est pulvérisée, la pulvérisation est lancée depuis la cabine du tracteur, via un boîtier de commande. Pourtant, du cuivre est retrouvé sur ses mains (3,40 mg à la fin du traitement, échantillon n°14). Cette présence du cuivre est uniquement due à une contamination de la poignée d'embrayage de la turbine. Cet agriculteur possède un tracteur qu'il ne nettoie qu'en fin de saison, et celui-ci avait déjà servi pour d'autres traitements au cuivre. Le cuivre et particulièrement salissant sur les pulvérisateurs (couleur bleu verte reconnaissable), et la poignée d'embrayage était souillée par des projections des produits phytopharmaceutiques.

Le viticulteur **numéro 13**, est celui qui présente la plus forte contamination avant toute manipulation (2,58 mg, médiane viticulteurs observés : 0,22 mg). Cela s'explique par l'usage du tuyau servant à remplir la cuve que cet agriculteur utilise aussi pour se laver les mains avant les traitements. Ce tuyau est fréquemment plongé dans la cuve de préparation de la bouillie, se souillant fortement aux produits phytopharmaceutiques. Cette contamination croisée n'est pas perçue par le viticulteur qui, s'il a conscience de la contamination du tuyau, estime celle-ci nulle dès qu'il l'a rincé à l'eau. Pour lui, l'eau claire à une action immédiate et parfaitement efficace sur l'élimination des résidus de produits phytopharmaceutiques.

Les photos suivantes, Figure 29, illustrent ses gestes.



Figure 29 : Photos illustrant la contamination croisée.

À gauche, le tuyau est introduit dans la cuve pour la remplir, celui-ci est souillé par les produits (ici du cuivre poudreux, en bleu-vert sur le tuyau). À droite, le viticulteur rince le tuyau après remplissage tout en se lavant les mains à l'eau claire, et viendra se présenter pour le prélèvement du point zéro. Interrogé, il estime qu'il n'est pas contaminé, l'eau

« emportant » les produits avec elle. Cet usage du tuyau explique la forte contamination de cet agriculteur aux produits phytopharmaceutiques.

Cet agriculteur présentait l'environnement de travail le moins organisé de tous ceux observés. Le tracteur dédié au traitement n'était jamais nettoyé, la cabine était particulièrement sale (poussières en particulier), et le stockage des bidons usés se faisait en vrac. Les sources de contamination indirecte sont nombreuses dans ce cas. Cette façon de travailler plus « brouillonne », (pas d'évitement des projections de bouillie lors du remplissage de cuve) et au non usage des EPI explique la forte contamination de cet agriculteur.

Cas des cabines

Des dosages des cabines ont aussi été effectués, lorsque cela a été possible, pour chaque opérateur. Le volant et les poignées dans la cabine ont été échantillonnés séparément. Le Tableau 37 récapitule les résultats de l'ensemble des prélèvements en cabine.

Tableau 37 : Doses relevées sur le volant et les commandes des cabines des tracteurs ayant servis à la pulvérisation chez les viticulteurs observés.

<i>Exploitation</i>	AVANT TRAITEMENT				APRÈS TRAITEMENT			
	VOLANT		COMMANDES		VOLANT		COMMANDES	
2	C1		C2		C3		C4	
	Folpel total en mg	1,95	Folpel total en mg	0,33	Folpel total en mg	1,07	Folpel total en mg	0,38
	Cuivre en mg	0,23	Cuivre en mg	0,13	Cuivre en mg	0,07	Cuivre en mg	0,13
3	C5		C6		C7		C8	
	Folpel total en mg	0,03	Folpel total en mg	0,06	Folpel total en mg	0,00	Folpel total en mg	0,02
	Cuivre en mg	0,07	Cuivre en mg	0,14	Cuivre en mg	0,00	Cuivre en mg	0,20
4	C9		C10		C11		C12	
	Folpel total en mg	0,02	Folpel total en mg	0,01	Folpel total en mg	0,01	Folpel total en mg	0,02
	Cuivre en mg	1,10	Cuivre en mg	0,73	Cuivre en mg	0,53	Cuivre en mg	0,09
6	Pas de prélèvement				C15		C16	
					Folpel total en mg	0,07	Folpel total en mg	0,04
					Cuivre en mg	0,30	Cuivre en mg	0,25
8	C17		C18		C19		C20	
	Folpel total en mg	0,12	Folpel total en mg	0,44	Folpel total en mg	0,24	Folpel total en mg	0,03
	Cuivre en mg	0,03	Cuivre en mg	0,03	Cuivre en mg	0,09	Cuivre en mg	0,06
9	C21		C22		C23		C24	
	Folpel total en mg	0,02	Folpel total en mg	0,10	Folpel total en mg	0,01	Folpel total en mg	0,00
	Cuivre en mg	0,31	Cuivre en mg	0,20	Cuivre en mg	3,91	Cuivre en mg	1,76
10	C27		C28		C29		C30	
	Folpel total en mg	0,00	Folpel total en mg	0,01	Folpel total en mg	0,00	Folpel total en mg	0,00
	Cuivre en mg	0,16	Cuivre en mg	0,68	Cuivre en mg	0,13	Cuivre en mg	0,26
11	C31		C32		Pas de prélèvement			
	Folpel total en mg	0,01	Folpel total en mg	0,00				
	Cuivre en mg	66,83	Cuivre en mg	0,44				
12	C33		C34		C35		C36	
	Folpel total en mg	0,00	Folpel total en mg	0,01	Folpel total en mg	0,04	Folpel total en mg	0,00
	Cuivre en mg	0,80	Cuivre en mg	0,73	Cuivre en mg	1,69	Cuivre en mg	0,51

Le viticulteur numéro 9 est celui qui présente les commandes et le volant les plus contaminés en fin de traitement, puisque cet opérateur traite avec un tracteur dépourvu de cabine. Ce résultat illustre le rôle de la cabine dans la réduction de l'exposition. Néanmoins, chez tous les autres viticulteurs, la cabine est aussi contaminée par du cuivre et du folpel. Cependant, il est difficile de dire avec ces dosages si la contamination est directe (via les EPI, ou la peau souillée) ou indirecte (via la pénétration de particules de bouillies dans la cabine). Le volant est généralement plus contaminé que la poignée, le temps de contact plus important avec celui-ci explique ce résultat.

Le viticulteur numéro 3 est celui qui présente la cabine la plus propre. Cet agriculteur est celui qui travaillait le plus proprement : c'est le seul à s'être lavé les mains à la fin de la préparation de la bouillie, avant de monter dans la cabine.

Ces mesures indiquent une contamination de la cabine par l'opérateur et une contamination de l'opérateur par l'environnement. Cette contamination de l'environnement de travail par les produits phytopharmaceutiques est présente, à des degrés différents, chez tous les viticulteurs observés. Au vu du nombre d'échantillons réalisés, il est impossible de définir le rôle précis de la contamination environnementale sur l'exposition totale, et en particulier du rôle des cabines. Se pose la question du temps passé au contact des produits phytopharmaceutiques lors de la préparation (quelques minutes) qui est bien moindre que les heures passées dans les cabines des tracteurs, laissant plus de temps de contact des viticulteurs, sans EPI, avec les parties des cabines souillées (volant, commandes et poignées).

Pratiques et exposition

Les viticulteurs présentent des façons de travailler différentes. De l'organisation du poste de travail, au port des EPI en passant par le respect des bonnes pratiques agricoles, chaque agriculteur présente sa propre pratique.

Les vidéos, les notes relevées et les entretiens montrent que les viticulteurs les plus méfiants vis-à-vis du risque sont les plus respectueux des bonnes pratiques agricoles.

Les bonnes pratiques agricoles (BPA) sont des consignes d'utilisation des produits phytopharmaceutiques issues de la réglementation. Les BPA sont l'application de la directive européenne 91/676/CEE du 12 décembre 1991, dite "directive nitrates". Ces BPA définissent de nombreux critères d'utilisation des produits phytopharmaceutiques et fertilisants en vue de

la réduction de l'impact environnemental, mais aussi sanitaire. L'arrêté du 22/11/93 relatif au Code des bonnes pratiques agricoles définit l'ensemble des dispositions des BPA. Si ce code a une vocation première de protection environnementale, ses recommandations sur l'usage des produits phytopharmaceutiques visent à réduire les doses et, par conséquent, l'exposition des opérateurs.

Ces BPA sont des règles pratiques, et ne proposent pas de règles de « bon sens » pour réduire l'exposition. Les comportements visant à réduire l'exposition, comme éviter les éclaboussures, ne pas toucher les zones souillées, participent à la réduction de l'exposition chez les viticulteurs les plus méfiants vis-à-vis des produits ou certains produits comme l'ont montré les observations de terrain. Certains opérateurs tendent à s'éloigner de la cuve lors du remplissage pour éviter les éclaboussures, et d'autres ne s'en soucient pas.

Chez les opérateurs observés, le numéro 3 était le plus vigilant vis-à-vis de l'exposition aux produits phytopharmaceutiques, et le numéro 13 le moins soucieux. Cela se traduit par une contamination, de l'individu et des cabines très contrastée : le viticulteur numéro 3 présentant les contaminations les plus faibles, et le numéro 13 les plus élevées que cela soit pour la cabine ou sur les mains. La perception du risque a ici une place importante : ces deux viticulteurs percevant les produits phytopharmaceutiques de façon opposée.

Les EPI et sentiment de sécurité

Les résultats des dosages indiquent que l'usage des gants réduit significativement l'exposition. Pour les dosages où il a été possible de mesurer l'exposition sur les gants et sur la peau (échantillons 21G/21M, 30G/30M et 31G/31M de l'exploitation numéro 8 et 11), ceux-ci montrent une forte diminution de la contamination entre la peau et la surface des gants, lors du même traitement. Il est difficile d'évaluer précisément la réduction de l'exposition puisque chaque scénario d'utilisation est unique, mais ces résultats démontrent l'importance de cet équipement dans la réduction de l'exposition, en accord avec les modèles d'exposition. Le folpel ne traverse pas le nitrile (Zainal et Que Hee 2003) mais ce produit est retrouvé sur la peau des viticulteurs ayant utilisé des gants (7A et 7B), indiquant une possible contamination lors du retrait de ceux-ci.

Concernant les EPI sur le terrain, le taux d'utilisation d'au moins un EPI est élevé avec seulement 2 viticulteurs n'en utilisant jamais lors des traitements. 11 viticulteurs sur les 13 ont

utilisé des gants lors de la préparation de la bouillie, ce qui représente un taux identique à celui indiqué lors des entretiens (Figure 24), confirmant au passage le déclaratif des viticulteurs et les observations. En pratique l'utilisation des gants n'assure pas une protection totale vis-à-vis des produits phytopharmaceutiques : les prélèvements sur la peau des viticulteurs montrent une contamination de celle-ci malgré l'utilisation de gants en nitrile. Le nitrile matière est pourtant une matière imperméable au folpel (Zainal et Que Hee 2003). Il ne s'agit pas non plus d'une erreur du laboratoire, un échantillon blanc a été envoyé au laboratoire et celui-ci n'a pas trouvé de trace de folpel sur cet échantillon.

La Figure 30 indique le niveau de sécurité perçu apporté par les différents EPI auprès des viticulteurs interrogés et/ou observés.

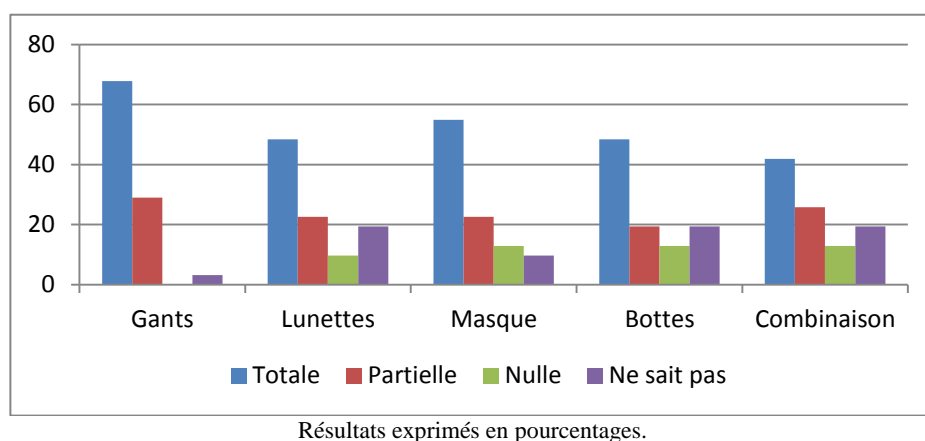


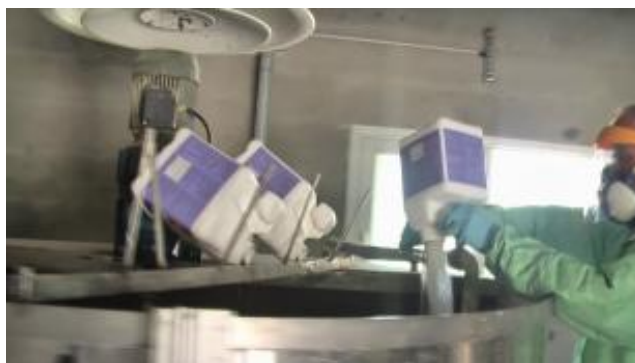
Figure 30 : « Quelle confiance accordez-vous aux EPI dans la protection vis à vis des produits phytopharmaceutiques ? »

La confiance accordée aux EPI est élevée, et en particulier pour les gants, dont l'utilisation importante (Figure 24) traduit ce sentiment.

Les EPI donnent aux viticulteurs une sensation de sécurité, modifiant leurs pratiques : l'effet des EPI et leurs conséquences sur l'exposition s'illustrent avec la préparation de **le viticulteur numéro 2**. La contamination des gants en fin de préparation varie sensiblement entre les 3 préparations de bouillie (échantillons 5A, 5B, 5C), montrant une variabilité intra-individuelle de l'exposition lors de préparations pourtant identiques : si les première et dernière préparations indiquent une contamination similaire, lors de la seconde préparation, l'opérateur se contamine près de 10 fois plus.

L'analyse des vidéos apportent des éléments de réponses quant à la contamination supérieure des échantillons 7B et 7C. Lors de la phase de rinçage des bidons, le viticulteur a placé sa main, gantée, pour retenir le bidon sous l'ouverture de celui-ci. L'eau souillée dégoulinant sur son gant, le contaminant ainsi fortement.

Ce comportement lié à la sensation de sécurité apportée par une barrière physique s'illustre à nouveau ici Figure 31 et Figure 32.



L'opérateur rince le bidon dans la cuve, via un rince-bidon. Sa main gauche se trouve particulièrement exposée au flux de bouillie sortant du bidon.

Figure 31 : Lavage et rinçage des bidons



L'opérateur retire les opercules des bidons et le conserve dans sa main. Ceux-ci sont souillés sur leur face interne, contaminant fortement les gants de l'opérateur. Les gants agissent ici comme une barrière physique et psychologique face au risque.

Figure 32 : ouverture des opercules des bidons

Cet aspect s'est déjà révélé lors des entretiens individuels avec le rôle de la cabine dans la protection perçue lors de la phase de pulvérisation, en décalage avec les mesures réalisées dans les cabines pour ce travail et les autres études qui montrent une contamination systématique de celles-ci (Bémer, Fismes *et al.* 2007). Les cabines apportent aux yeux des viticulteurs une protection parfaite lors de la pulvérisation. Ici, les EPI jouent cet effet protecteur vis-à-vis des produits manipulés. Cette exposition de l'EPI est liée à la perception

que le risque est nul, lors du port des EPI. La confiance très importante accordée aux EPI explique pourquoi les viticulteurs estiment que les EPI sont des protections absolues vis-à-vis des produits phytopharmaceutiques (Figure 30).

Pour approfondir la compréhension du mécanisme d'exposition et le rôle des EPI, les vidéos des traitements ont été utilisées pour compter les contacts des mains avec l'environnement (bidon, cuve, outils, jauges etc.), ainsi que la durée précise des différentes phases du traitement. Les comptages totaux de **l'exploitation 3** sont proposés en Annexe X pour illustrer le travail. Le Tableau 38 reprend une partie de ces contacts, la durée des préparations et les doses manipulées.

Tableau 38 : Doses, contacts et durées des préparations de l'exploitation numéro 2.

<i>Ech.</i>	DOSES EMPLOYÉES				PRÉPARATION				
	Surface à traiter en Ha	g/l de SA pure	l ou Kg de produit / Ha	Qte manipulée en g	Dose mesurée en mg	Contacts	mg/contact	Durée en s	mg/min
7A	10	480	2,88	13824	499	93	5,3	423	70,8
7B	6	480	2,88	8294	3195	71	45,0	341	562,2
7C	2	480	2,88	2764	401	18	22,3	107	225,3
TOTAL ----->				24883	4096	182	22,5	871	282,2

Dans ce cas, l'exposition lors de la préparation ne dépend pas de la surface traitée, ni des doses manipulées. L'exposition n'est pas liée au temps passé à la préparation, ni au nombre de contacts, puisque les contaminations exprimées en mg/contact ou en mg/minute ne correspondent pas : lors de la préparation 2 (échantillon 7B), chaque contact l'expose à 45 mg de produit, contre 18 pour la préparation 3 (échantillon 7C). Rapportée à la dose manipulée, les échantillons 7B et 7C présentent une surexposition par rapport au premier traitement (7A). Chez cet agriculteur, l'exposition de ses gants dépend donc de son comportement, fortement affecté par la sensation de sécurité apportée par l'usage des gants.

Les faibles taux de produits récupérés sur les mains avec l'utilisation de gants indiquent que les EPI protègent correctement le viticulteur. Le prélèvement 13 donne même un taux de contamination moindre qu'avant toute manipulation. Ceci montre aussi que le cuivre a bien été retiré lors du lavage des mains à l'isopropanol. Plus subjectivement, cet agriculteur présentait une façon de travailler « propre » : se lavait les mains régulièrement, et manipulait les bidons avec soin, évitant les éclaboussures de produits ou avec l'eau lors du remplissage

de la cuve. Cet aspect tranche avec le viticulteur numéro 13, plus « sale » dans sa façon de travailler.

Toujours pour illustrer cet effet de sécurité lié aux EPI, **le viticulteur numéro 11** a, quant à lui, plongé directement sa main dans le sac de bouillie bordelaise pour faciliter l'écoulement lors du remplissage. Cette manipulation explique sa très forte contamination du gant (1234 mg).

Enfin, il apparaît que les EPI offrent une protection plus importante que celle considérée dans les modèles. Pour le modèle utilisé dans ce travail, les gants sont imperméables à 99 % de la dose reçue. Dans le cas des modélisations, pour les viticulteurs chez qui il a été possible de réaliser des mesures sur les gants et sur la peau, la réduction est plus significative que 1 %, à l'exception d'un agriculteur.

Ainsi, pour **l'exploitation numéro 8**, seul 0,012 % du total de produit phytopharmaceutique lors de la préparation traverse les gants, confirmant la réduction significative de l'exposition apportée par les gants. En revanche pour **l'exploitation numéro 9**, 44 % de la dose reçue lors de la pulvérisation traverse les gants. Malgré l'analyse des vidéos et des informations récoltées sur le terrain, aucune explication sur cette forte exposition n'est possible avec les données recueillies.

Lors de la pulvérisation, **le viticulteur numéro 11** est celui dont l'écart avec le modèle est le plus élevé. C'est aussi l'un des plus exposés. Ceci s'explique par le fait qu'il est le seul à être sorti du pulvérisateur pour contrôler les buses, sans couper la pulvérisation en se déplaçant dans le nuage de pulvérisation. Á cet instant il se contamine fortement. La photo, Figure 33, illustre cet agriculteur « noyé » dans le brouillard de pulvérisation lors d'un contrôle du manomètre sur le pulvérisateur.



L'opérateur sort de son tracteur sans couper la pulvérisation. Il s'expose à ce moment fortement aux produits phytopharmaceutiques, présents sous forme de gouttelettes en suspensions. Le nuage de pulvérisation est ici bien visible, masquant presque l'opérateur.

Figure 33 : Nuage de pulvérisation.

Dans ce cas, l'effet protecteur des EPI explique cette contamination. Le viticulteur déclare estimer ne pas s'exposer grâce aux gants qu'il porte lors de la pulvérisation. C'est aussi le seul parmi les viticulteurs observés à avoir porté des gants lors de la pulvérisation.

5.5.3 Décalage entre le risque réel et le risque perçu

Les observations de terrain ont permis de confirmer le décalage entre le risque réel et le risque perçu, déjà soulevé lors des entretiens individuels.

Dans certaines situations, les viticulteurs estiment correctement le risque. La perception est bien reliée au risque réel : c'est le cas de la phase où l'exposition est perçue comme plus importante. Les viticulteurs estiment à 90 % (lors des entretiens et lors de la ré-observation) que l'étape la plus exposante est la préparation de la bouillie. Ceci se retrouve en pratique puisque les dosages indiquent que la contamination est la plus importante lors de l'étape de préparation de la bouillie. Les doses relevées, que cela soit pour le folpel ou pour le cuivre sont généralement plus élevées pour la préparation que pour le traitement : en moyenne, lors des mesures de terrain, l'étape de préparation de la bouillie contribue à 68,5 % de l'exposition totale des opérateurs observés. Cependant ces résultats sont à pondérer : d'autres études indiquent que la phase de pulvérisation serait responsable de 50 % de l'exposition totale, contre 30 % pour la préparation (Baldi, Lebailly *et al.* 2012), mais les échantillons et les traitements observés ne sont pas identiques, même si ces travaux concernent la vigne. Ces résultats montrent la grande diversité des expositions selon les opérateurs et les échantillons

observés. À l'inverse, ces observations ne confirment pas l'idée que les viticulteurs ont de la forme liquide dans la réduction des risques. Pour eux, la forme liquide est celle qui les expose le moins, comme cela est indiqué dans les résultats des entretiens. Ainsi, le viticulteur numéro 13 a réalisé deux traitements, l'un au cuivre, l'autre au folpel, sous deux formes différentes. Le Tableau 39 indique les résultats de l'observation des vidéos pour le comptage des contacts et la dose reçue par cet opérateur.

Tableau 39 : Traitements du viticulteur numéro 13.

EXPLOITATION N° 13	DOSES EMPLOYÉES				FIN DE LA PRÉPARATION				
PRODUIT	Surface traitée en ha	g.L ⁻¹ SA Pure	L ou kg SA / ha	Qte. manipulée en g	Dose mesurée	Contacts	mg/contact	Durée en s	mg/min
Bouillie Bordelaise	9	203	3	5481	9,68	27	0,54	600	1,46
Folpel	9	500	3	13500	350,89	55	7,46	391	63,0

Pour le folpel, la quantité manipulée de produit est 2,4 fois plus importante que pour le cuivre. Pourtant l'exposition est près de 30 fois plus importante pour le folpel que pour le cuivre, et ceci malgré un temps de préparation 2 fois plus court. Le folpel est liquide, alors que le cuivre est sous forme de sachets hydrosolubles. Le rinçage du bidon de folpel constitue, comme pour le cas du viticulteur 2, une phase critique d'exposition aux produits liquides. L'usage de sachets hydrosolubles expose moins l'opérateur car il n'a pas à rincer le contenant des sachets, estimant que le carton d'emballage des sachets est propre. Ceci confirme que l'étape de rinçage des bidons est critique dans l'exposition des viticulteurs. Dans ce cas la protection plastique entourant le cuivre poudreux des sachets hydrosolubles constitue une barrière physique et psychologique vis-à-vis du produit. Le viticulteur estime ne pas s'exposer, car le sachet est perçu comme une protection efficace. En recoupant ces résultats avec le questionnaire sur la perception, il apparaît que cet agriculteur n'adapte pas ses pratiques de sécurité selon les produits. Il estime que tous les produits sont non dangereux. Il présente un déni du risque important. Son exposition n'est donc pas liée à la perception (qui est identique pour tous les produits), mais uniquement à l'environnement (forme de produit, contamination de son environnement de travail). Paradoxalement, lors de l'entretien sur le risque, le viticulteur estime que les formes liquides sont celles qui exposent le moins. En pratique, cet agriculteur s'est plus exposé avec le liquide qu'avec le sachet hydrosoluble. La perception du

risque, ici estimée comme nulle par le viticulteur, aboutit à des conduites de sécurité dégradées et une surexposition.

Les EPI jouent un rôle déterminant dans l'exposition, puisqu'ils constituent une barrière physique et psychologique importante. Ils influencent les pratiques des viticulteurs qui perçoivent la protection comme parfaite. Dès lors, les EPI modifient sensiblement l'exposition des viticulteurs.

Adaptation des pratiques selon la perception du risque

Ces résultats montrent que la sensation de maîtrise du risque induite par l'utilisation des EPI n'est pas toujours reliée au risque réel. Les EPI sont considérés comme des équipements particulièrement fiables et utiles dans la réduction du risque, comme ceci est indiqué Figure 30. Plusieurs cas permettent d'illustrer l'adaptation des pratiques selon la perception du risque.

Le traitement 9 illustre le rôle de la perception du risque et son importance sur la contamination. Dans ce cas, le viticulteur a retiré ses gants une fois certaines étapes de la préparation effectuées, qu'il juge critiques.

Une fois les sacs de bouillie bordelaise versés dans la cuve, il a retiré ses gants, estimant que la manipulation des produits concentrés est la partie la plus exposante de la phase de préparation de la bouillie. Pourtant, les mesures indiquent une contamination élevée comparativement aux autres viticulteurs utilisateurs de gants durant toute la préparation de la bouillie. Dans ce cas, les vidéos montrent que le viticulteur est victime d'une contamination croisée par les tuyaux de remplissage (il est fréquent que celui-ci soit plongé dans la cuve lors du remplissage), ou par les parois de son pulvérisateur contaminés par des débordements de cuve.

La contamination croisée ou indirecte est un processus invisible et insensible pour le viticulteur. Cette contamination échappe à sa perception. Durant les entretiens et observations, aucun agriculteur n'a évoqué ce processus. Pour eux, la contamination est toujours perçue comme directe. Le rôle des EPI et leur utilisation confirment ce sentiment. L'utilisation des EPI est corrélée à certaines étapes du traitement estimées comme exposantes.

Le viticulteur numéro 3 illustre aussi ce phénomène. Dans ce cas, le viticulteur a effectué 2 traitements, l'un de cuivre, l'autre au folpel. Le viticulteur a précisé se méfier également de ces deux produits. Mais, s'il a utilisé les mêmes EPI pour la préparation des deux bouillies, lors de la pulvérisation, il n'a utilisé des gants que pour le traitement au folpel et aucun EPI pour le traitement au cuivre, adaptant sa pratique au produit employé. Les captures d'écran, Figure 34, illustrent ce fait.



A gauche, intervention sur le pulvérisateur, sans EPI, lors du traitement au cuivre, à droite intervention avec des gants lors du traitement au folpel.

Figure 34 : Adaptation des comportements selon les produits employés

La perception différente du risque pour ces deux produits se traduit concrètement par un usage des gants avec le produit perçu comme le plus dangereux. Cette perception se limite à la contamination directe. La notion de contamination croisée n'est pas prise en compte, puisque le viticulteur estime ne pas se contaminer avec du folpel résiduel sur les parois de la cuve.

Paradoxalement, dans ce cas, cela ne se traduit pas par une réduction du risque lors de la pulvérisation. En fin de traitement, cet agriculteur présente un taux de 30 mg de folpel relevé sur la peau, contre 0,06 mg de cuivre. Néanmoins, les interventions ne sont pas les mêmes, puisque le viticulteur est intervenu sur les buses lors du traitement au folpel, alors que pour le cuivre, il a seulement retiré des herbes obstruant la visibilité des feux arrières du pulvérisateur. Avec une seule observation, il n'est pas possible de tirer de conclusions sur l'aspect protecteur, ou non, des EPI utilisés lors de la pulvérisation.

Ces résultats confirment l'importance accordée à la perception dans les pratiques. Relevé en marge des entretiens, beaucoup de viticulteurs déclarent utiliser les EPI en fonction des produits employés et du danger estimé. Difficilement quantifiable lors des entretiens, cet aspect adaptatif des pratiques apparaît dans les résultats de mesures d'exposition ou de nombreux viticulteurs se protègent relativement peu avec le cuivre, perçu comme "sain".

Le viticulteur numéro 11 illustre l'idée de la présence du risque direct ou non. Les photos suivantes sont prises par ordre chronologique lors de la préparation :



1



2



3



4

1/ Le viticulteur remplit la cuve. Tant qu'il ne manipule pas directement les produits phytopharmaceutiques, il ne porte pas d'EPI

2/ Le viticulteur ne porte toujours pas d'EPI pour la manipulation des sachets des produits phytopharmaceutiques. Il est ici dans le local phytosanitaire²³, et certains flacons sont déjà ouverts. La contamination indirecte par ces emballages, souillés lors du précédent remplissage, n'est pas perçue par l'opérateur.

²³L'annexe XIV propose un rappel sur la construction et la gestion d'un local phytosanitaire.

3/ Le viticulteur a enfilé une combinaison au moment de déverser les produits phytopharmaceutiques dans la cuve. À ce moment, la notion de contamination directe, bien présente et visible, aboutit au port des EPI.

4/ En fin de remplissage, le viticulteur scelle les bidons de produits phytopharmaceutiques, et retire ses EPI avant de ranger les flacons dans le local phytosanitaire. Symboliquement, le scellage des flacons clot aussi la possibilité de contamination dans l'esprit de l'opérateur.

Ce comportement résume la place que prend la sensibilité du risque dans l'adaptation des pratiques agricoles. Cet opérateur, par ailleurs conscient du danger des produits phytopharmaceutiques au regard du port des EPI lors de la préparation et de son déclaratif, n'a pas conscience de la contamination croisée lors de la manipulation des bidons ou avec la cuve souillée.

5.5.4 Les profils de risque

Les mesures d'exposition et les modélisations confirment de nombreux points soulevés lors de l'approche théorique de la perception du risque et des pratiques agricoles.

Le port des EPI est fortement soumis à la perception du risque qu'ont les viticulteurs des produits qu'ils emploient. Plus ils s'en méfient, plus le port des EPI est élevé. Si le nombre de mesures sur le terrain ne permet pas de tirer de conclusions statistiques significatives, les entretiens et les échanges avec les viticulteurs confirment cette tendance. En se référant aux travaux de la DRASS sur la perception du risque, il apparaît dans ce travail des « profils de risque » décrivant la perception et les pratiques associées qui apparaissent dans ces observations.

Cinq profils sont décrits et peuvent se retrouver parmi les viticulteurs observés et enquêtés. Toutefois, si chaque agriculteur observé présente une tendance particulière à l'un des profils ci-dessous, il n'est pas pertinent de les cataloguer exclusivement dans l'un deux. Ceux-ci se retrouvent à divers degrés dans ces profils en fonction des sujets abordés. Les viticulteurs se classent essentiellement dans le profil de défi, de crainte coupable et de prévention.

1/ La crainte coupable : Le viticulteur a peur pour sa santé et pense prendre des risques, mais ne modifie que peu ses pratiques. Cela se traduit par une forte exposition aux produits phytopharmaceutiques, confirmée par les modélisations, les mesures d'exposition et le

déclaratif. Dans cette situation, le viticulteur estime que les contraintes liées au métier (finances, temps de travail, organisation etc.) sont plus importantes que sa sécurité.

2/ La prévention : Le viticulteur pense que le risque existe, mais qu'il n'y est pas exposé car il fait "attention" et déploie de nombreuses stratégies, qu'il pense être efficaces, pour diminuer son exposition. Ces stratégies ne sont pas limitées au port des EPI et ne sont pas toujours identifiables directement. Par exemple, un agriculteur peut traiter face au vent pour ne pas s'exposer, un autre peut se fabriquer une potence pour remplir sa cuve pour éviter que le tuyau ne l'éclabousse lors du remplissage. Les exemples sont nombreux et ont comme point commun de s'appuyer intégralement sur l'approche expérimentale du risque, c'est-à-dire que ces stratégies s'appuient sur des facteurs concrets, un raisonnement logique et souvent empirique. Durant les observations, cette stratégie d'évitement du risque s'observe à divers degrés chez l'ensemble des viticulteurs. Il s'agit de la partie perceptible de la sensation de maîtrise de risque, particulièrement développée pour l'acceptation de celui-ci, comme cela est indiqué chapitre 2 sur les mécanismes de la perception du risque. Néanmoins ces stratégies sont souvent peu adaptées au risque réel, puisqu'elles s'appuient sur une perception erronée du risque. L'exemple de l'odeur et du port du masque est un exemple concret de protection peu utile vis-à-vis du risque réel sur les produits phytopharmaceutiques observés.

Seuls deux cas de perception juste du risque sont apparus dans ces travaux : (1) L'utilité des gants et des autres EPI pour réduire le risque et (2) la phase de préparation de la bouillie perçue comme la plus exposante. Dans les deux cas, cette perception est exacte, et confirmée par l'approche analytique du risque réel.

Le retrait des produits phytopharmaceutiques du marché est souvent vécu comme bénéfique pour la santé, puisque les viticulteurs estiment que les produits les plus dangereux sont retirés en priorité. Ce raisonnement est encore une fois en accord avec l'approche expérimentale : les produits les plus efficaces sont retirés car trop dangereux pour l'homme et l'environnement. Ceci induit une méfiance moindre pour les produits phytopharmaceutiques actuels que pour ceux du passé. Les exemples cités de produits utilisés autrefois et très dangereux sont fréquemment cités pour étayer ces propos.

3/ Le défi du risque : Le viticulteur n'a pas peur pour sa santé mais pense prendre des risques. Ce profil n'a pas été observé chez les 13 opérateurs. En revanche un agriculteur, lors des entretiens, a clairement montré son goût du défi du risque. Il s'agissait d'un agriculteur

proche de la retraite qui estimait être « passé à travers » et que s'il tombait malade, c'est « que la vie en décidait ainsi ».

4/ L'ignorance. Elle concerne les viticulteurs qui estiment que l'utilisation des produits phytopharmaceutiques est sans danger quelles que soient les pratiques ou les produits utilisés. Avec la formation Certiphyto, obligatoire, ce profil est supposé disparaître puisque cette formation inclut un volet santé/sécurité sur les produits phytopharmaceutiques. Le viticulteur numéro 13, le plus exposé est celui qui présentait le plus de lacunes concernant les dangers des produits phytopharmaceutiques. Ce profil d'ignorance concerne les viticulteurs les moins méfiants vis-à-vis du risque.

5/ La maîtrise technologique : Le viticulteur n'a pas peur du risque et ne pense pas en prendre. Cependant il reconnaît qu'il en existe. Pour le contourner il s'équipe de nombreux matériels de prévention du risque (EPI, cabine filtrée, système de récupération de la bouillie pulvérisée), mais ne modifie pas ses pratiques, estimant que la maîtrise du risque par le matériel est suffisante. Il a une confiance absolue dans l'utilisation du matériel et dans l'efficacité des protections. Ce profil est observé chez les opérateurs utilisant des EPI et qui les surexposent, traduisant une complète confiance dans ceux-ci.

Cependant, lorsqu'il a été abordé la question des actions à mener pour réduire le risque, la catégorie " maîtrise du risque" est clairement la plus représentative. Parmi les solutions évoquées pour réduire le risque, peu reposent sur le comportement et la pratique du viticulteur. Ces solutions se basent sur des facteurs externes, tels que l'amélioration des prévisions météorologiques (qui permettrait de traiter moins, selon eux) ou encore le développement de produits moins dangereux pour l'homme. Le résultat de la question sur les stratégies futures à développer pour réduire le risque est synthétisé Figure 35.

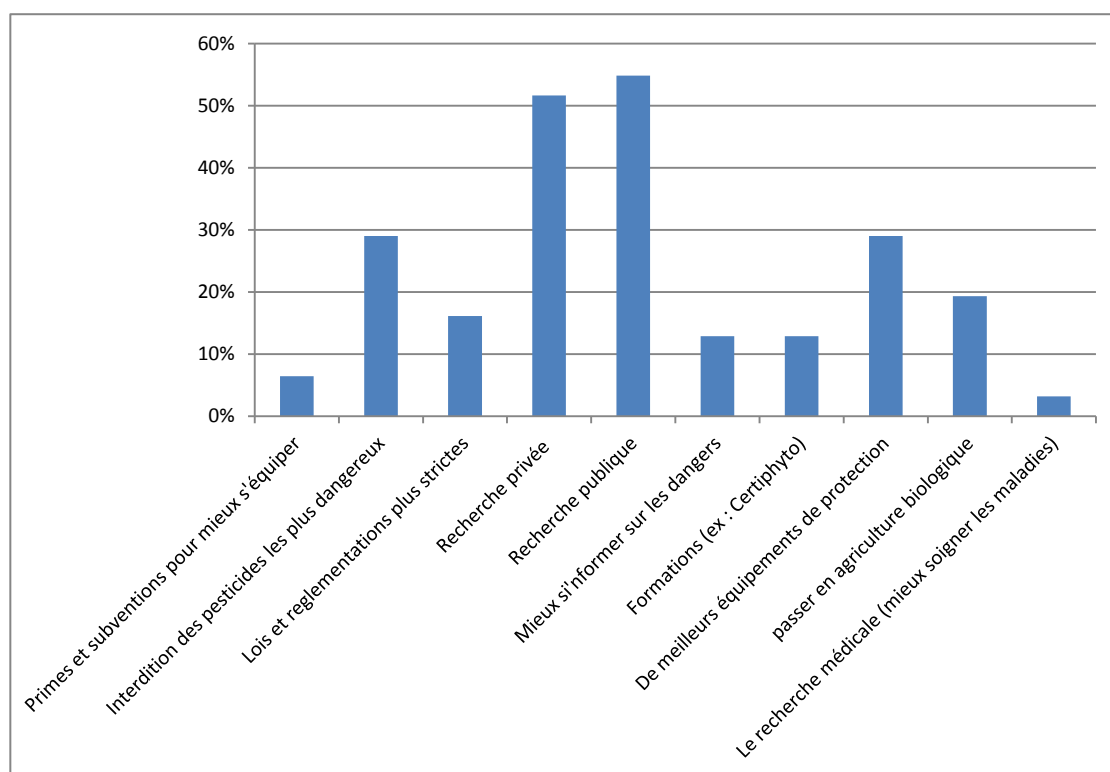


Figure 35 : Orientations futures souhaitées par les viticulteurs pour réduire le risque phytosanitaire.

Parmi ces orientations, les viticulteurs comptent sur des tiers, tels que les laboratoires privés ou publics, pour développer de meilleurs produits et équipements. Le passage à l'agriculture biologique est la seule perspective future qui implique une modification sensible des pratiques agricoles.

Durant cette question, les viticulteurs déclarent en faire déjà assez concernant la réduction des risques, et ne semblent pas vouloir modifier leurs pratiques. Les contraintes financières et organisationnelles liées aux modifications des pratiques constituent un frein à celles-ci.

5.5.5 Incertitudes sur la perception

Si le doute subsiste sur le rôle précis des produits phytopharmaceutiques dans le développement de maladies chroniques, ce rôle ne fait aucun doute pour les viticulteurs. Les enquêtes montrent que ceux-ci sont persuadés du rôle néfaste de ces substances sur leur santé (URCAM et DRASS 2003). La perception qu'ont les utilisateurs des produits phytopharmaceutiques se construit selon un processus très personnel (URCAM et DRASS 2003 ; Boissonnot et Grimbuhler 2011) qu'il est difficile de généraliser. Néanmoins, plusieurs

niveaux de risque ont été observés, de la négation du risque à un risque perçu comme certain pour l'ensemble des substances. Ces différents niveaux de perception du risque se retrouvent aussi dans les travaux dans l'AHS où il a aussi été montré un usage des EPI corrélé est à des profils d'acceptation du risque (DellaValle, Hoppin *et al.* 2012). Le principal facteur de perception négative des risques liés aux produits phytopharmaceutiques par les viticulteurs est son aspect peu sensible, invisible. Or, la non sensibilité d'un risque explique la perception négative de celui-ci (Sandman 1993). Les viticulteurs accordent une place importante à divers signaux environnementaux pour « matérialiser » le risque. L'odeur (Dalton 1996 ; Paustenbach et Gaffney 2006 ; Thierauf, Weinmann *et al.* 2010) , le type de produit ou l'efficacité sont des informations « matérielles », concrètes servant à le viticulteur à évaluer le risque (Dalton et Jaén 2010). Ces signaux, lorsque le viticulteur craint les produits phytopharmaceutiques, aboutissent à une représentation du risque empirique mais très marquée. Les viticulteurs s'appuient sur ces signaux pour développer des stratégies de maîtrise du risque. En effet, le risque est de nature insupportable pour l'Homme et doit être rendu acceptable par l'idée que l'Homme le maîtrise. Les exemples de maîtrise avec d'autres formes de risque comme le tabagisme (« j'arrête quand je veux ») ou la conduite automobile (« je conduis mieux que les autres ») illustrent ce phénomène (Svenson 1981 ; Bostrom 1997 ; Andersson 2011). L'observation de l'usage des EPI permet l'évaluation, la perception du risque chez les viticulteurs observés. C'est le facteur le plus important dans la maîtrise du risque, puisque l'usage des EPI permet au viticulteur de le contrôler et cet usage est fortement corrélé à la perception qu'ont les viticulteurs du risque (Arcury, Quandt *et al.* 2002). Ainsi, les viticulteurs les plus craintifs sont plus volontiers utilisateurs d'EPI que ceux n'ayant pas de conscience du risque (Al-Haddad et Al-Sayyad 2013). Ce travail montre aussi que les EPI procurent un fort sentiment de sécurité, ce que d'autres travaux avaient déjà montré (URCAM et DRASS 2003 ; Garrigou, Baldi *et al.* 2011 ; INSERM 2013). Les viticulteurs estiment que le risque phytosanitaire est le plus important de leur activité même face à d'autres risques pourtant statiquement plus importants. Les raisons de cette place particulière du risque chimique évoquées par les viticulteurs sont liées à la non maîtrise du risque chimique par rapport au risque physique. L'accident matériel est perçu comme évitable et – s'il a lieu - il s'agit d'une faute d'inattention. Les conséquences du risque mécanique sont aussi vastes : chute, coupures, encrassement, fractures des membres... À l'inverse, la peur du risque lié aux produits phytopharmaceutiques est spécifique : la crainte exprimée est le cancer. Associé à la non maîtrise du risque, cette peur spécifique explique la perception très négative du risque lié

aux produit phytopharmaceutique (Sjöberg 2000). Les entretiens ont aussi montré que d'autres paramètres sont pris en considération dans l'acceptation du risque. Le facteur économique est très important et les viticulteurs semblent prisonniers d'un système, d'une méthode de travail, utilisant obligatoirement des produits phytopharmaceutiques : l'acceptation du risque est fataliste (Nicourt et Girault 2009 ; Omnès 2009 ; C et Girault 2011).

5.6 Comparaison entre doses mesurées et modélisées

Les doses mesurées chez les viticulteurs ont été comparées avec les doses modélisées pour chacun d'entre eux. L'objectif de cette comparaison est d'observer des décalages d'exposition entre les modèles, qui travaillent en condition de bonnes pratiques d'utilisation des produits phytopharmaceutiques, et les valeurs observées sur le terrain.

Il ne s'agit pas de juger la pertinence des modèles, mais de mettre en lumière des décalages d'exposition par rapport aux modèles liés à des pratiques de terrain éloignées des bonnes pratiques agricoles. Le résultat de cette comparaison est disponible Tableau 40.

Tableau 40 : Comparaison entre les doses mesurées et les doses modélisées

Exploitation numéro	Produits utilisés	DOSES EMPLOYÉE				MESURES ET MODÉLISATIONS D'EXPOSITION						
						Préparation				Pulvérisation		
						Doses modélisées en mg		Doses mesurées en mg			Doses modélisées en mg	Doses mesurées en mg
		Surface Traitée en ha	g.l ⁻¹ de SA pure	l ou Kg SA / Ha	Quantité manipulée en g	Sur la peau avec gants	Sur les gants ou sur la peau sans gants	Sur la peau avec gants	Sur les gants	Sur la peau sans EPI	Sans EPI	Sans EPI
1	Nordox 75	10	750	0,7	5250		25,2				3	
	BB	10	200	2,5	5000		24				2,8	
	Total			TOTAL ->	10250		49,2			27,7	5,7	8,5
2	Folpel	10	480	2,9	1 3824		26,5		499,4			
		6	480	2,9	8 294,4		26,5		3 195,4			
		2	480	2,9	2 764,8		26,5		401,8			
3	F	6	800	1,9	9 120	0,3		85,3			8,5	30
	Cu	6	200	3,8	4 500	0,4		0,9			4,2	0,9
4	Cu	13	200	3,8	9 750	0,4		10			4,2	6,9
5	Nordox	1	750	0,3	225	0,1					1,3	
	BB	1	200	1,5	300	0,1					1,7	
	Total Cuivre			TOTAL ->	525	0,3		0,6			3	3,4
6	Nordox 75	8	750	0,3	1 860	0,1					1,3	
	BB	8	200	1,8	2 880	0,2					2	
				TOTAL ->	4 740	0,3		2,6			3,3	0,2
7	BB	24	360	1	8 640	0,2					2,0	
	Nordis 75	24	750	0,5	9 000	0,2					2,1	
	Total Cuivre			TOTAL ->	17 640	0,3		1,5			4,1	0,06
8	Nordox	10	750	0,5	3 750	0,2	18				2,1	
	BB	10	200	1,5	3 000	0,1	14,4				1,7	
				TOTAL ->	6 750	0,3	32,4	0,04	22,5		3,8	1
9	BB	8	200	1,5	2 400	0,1	14,4	2,2	5		1,7	15,2
10	BB	10	200	1,5	3 000		14,4		65,8		1,7	2,2
11	Nordox	3	750	0,5	1 125	0,2	18				2,1	
	BB	3	200	1,5	900	0,1	14,4				1,7	
	Total Cuivre			TOTAL ->	2 025	0,3	32,4	9,8	1234,1		0,2	11,1
12	BB	12	200	3,8	9 000	0,4		3,2			4,2	3,9
13	BB	9	203	3	5 481		29,2			9,7	1,7	6,6
	F	9	500	3	13 500		72			350,9	8,4	234

Dans ce tableau figurent les résultats de la modélisation, produit par produit. Les mesures d'exposition ne pouvant pas faire la différence entre le cuivre issu de la bouillie bordelaise et celui issu du Nordox ® 75, les résultats des colonnes « doses mesurées » concernant les doses de l'ensemble du cuivre issue de ces deux produits. En fonction du port des gants par les viticulteurs, les résultats des mesures et modélisations sont placés dans les colonnes respectant les équipements de protection ou non. Par exemple, le viticulteur 1 n'ayant pas porté de gants, ses résultats sont dans les colonnes « doses modélisées sur gants ou sans EPI » et dose mesurées « sans EPI ».

Devant le peu de mesures d'expositions et de modélisations, il n'est pas possible de tirer de conclusions statistiquement significatives. Néanmoins plusieurs remarques sont possibles au regard de ces résultats :

- Le viticulteur numéro 3 est celui dont la pratique s'approche le plus des bonnes pratiques. Respectueux du port des équipements de protection, des doses à employées et travaillant proprement. Il a évité les éclaboussures, correctement nettoyé sa cuves et les bidons sans surexposer volontairement ses EPI. Le résultat des modélisations sont proches des mesures effectuées.

- Á l'exception du viticulteur numéro 8, le modèle sous-estime l'exposition lors de la préparation. Cela montre que les viticulteurs ne respectant pas les bonnes pratiques (avec notamment l'exemple du viticulteur numéro 13, le moins préoccupé par la réduction de l'exposition), sont ceux qui présentent les doses mesurées les plus élevées.

- Á l'inverse, le modèle semble estimer correctement la contamination lors de la pulvérisation. Les valeurs retrouvées sont proches de celles modélisées. Cela indique un décalage faible entre le prescrit et le réel. Les bonnes pratiques semblent plus faciles à respecter lors de la pulvérisation. La tâche qui consiste à conduire le tracteur dans les rangs de vigne, est répétitive et linéaire et présente peu de possibilités de dévier des bonnes pratiques, sauf incident. Ces incidents sont rares comme le montrent les mesures de terrain ou seulement un cas de buse bouchée a pu être observé. Dans ce cas, le viticulteur a cependant pris de grandes précautions lors du débouchage (utilisations de gants au moment de toucher la buse).C'est l'un des moins exposés lors de la pulvérisation avec 0,23 mg (agriculteur numéro 6).

-Le modèle estime cependant les expositions avec des écarts plus importants pour le folpel que pour le cuivre. Sur les deux viticulteurs qui ont manipulé ces deux produits (agriculteur numéro 13 et 3), les écarts sont significativement plus élevés pour le folpel que pour le cuivre.

-Le port des gants, que cela soit pour le modèle ou lors de mesures de terrain, réduit sensiblement l'exposition.

Ce tableau confirme que les modélisations, basées sur une utilisation des produits phytopharmaceutiques en bonne pratiques se révèlent proches des expositions sur le terrain lorsque le viticulteur tend vers les bonnes pratiques.

5.7 Bonnes pratiques et pratiques de terrain

Ces observations et mesures de terrain ont permis de matérialiser les processus d'exposition des viticulteurs, de confirmer les résultats des entretiens et de mieux comprendre les mécanismes de perception du risque et leur importance dans l'exposition des viticulteurs.

Plusieurs cas ont été confirmés par ces observations :

1/ **Le rôle des EPI.** Les EPI fournissent une sensation de sécurité importante dans l'esprit des viticulteurs, les amenant à effectuer des manipulations exposantes. Il n'a pas été possible d'observer des viticulteurs réalisant la même tâche, avec et sans EPI, rendant difficile la quantification de ce rôle des EPI sur l'exposition. Néanmoins cet effet existe et explique la surexposition, du moins des gants, de certains viticulteurs par rapport à d'autres. Cet effet barrière des EPI complète celui, déjà relevé lors des entretiens, procuré par la cabine lors du traitement.

Plus globalement, cet effet s'inscrit dans la notion de risque « sensible », c'est-à-dire que la construction de la perception est basée sur des facteurs palpables, concrets et s'inscrivent dans les théories sur la perception et l'approche expérimentale du risque décrite dans le chapitre sur la perception du risque et au Tableau 19.

Toujours dans cette idée de perception influencée par des facteurs sensibles, l'eau a une place importante dans la réduction perçue du risque. L'idée que l'eau "emporte avec elle" les produits phytopharmaceutiques explique de nombreux comportements. Aux yeux des viticulteurs, "l'eau dilue" les produits et la pulvérisation ou le nettoyage ne sont pas des phases critiques d'exposition pour les viticulteurs. Ceci s'observe chez tous les viticulteurs, dont le lavage des mains demandé pour les prélèvements avant toute manipulation, est perçu comme très efficace : « vous ne trouverez rien », est une expression récurrente lors de ce premier prélèvement. Le nettoyage des pulvérisateurs illustre aussi cette idée. Dans ce cas, les EPI sont portés non pas par protection vis-à-vis des produits, mais pour ne pas se mouiller. Les viticulteurs estiment que le produit « est parti » et que ce qui reste dans la cuve est dilué et lavé à l'eau claire. Ce discours s'inscrit encore une fois dans un raisonnement expérimental de la perception du risque (Tableau 19).

2/ **Une contamination indirecte mal perçue.** La contamination de l'environnement de travail n'est pas perçue par les viticulteurs. L'usage du tuyau pour remplir à la fois les cuves et se laver les mains illustre cette idée. Pourtant cette contamination est à l'origine d'expositions très variables selon les viticulteurs (exposition en fin de remplissage notamment). Difficilement quantifiable, la façon dont le viticulteur travaille traduit généralement sa perception des risques liés à la contamination environnementale. Les viticulteurs les plus «propres » sont ceux présentant des taux de contamination les plus faibles. Contrairement au numéro 3 qui est celui travaillant avec le plus de précautions vis-à-vis de son exposition aux produits phytopharmaceutiques et présentant les taux de contamination les plus bas, le viticulteur numéro 13, l'un des plus exposée aux produits, et qui est peu soucieux d'éviter les éclaboussures lors du remplissage.

Enfin, la contamination des cabines montre aussi une contamination indirecte. L'opérateur souille sa cabine, qui le souille à son tour au traitement suivant. Chaque prélèvement de cabine avant traitement ayant montré une contamination.

3/ **Le temps de travail** passé, la surface traitée ou encore le nombre de contact directs ou indirects avec les produits ne sont pas des marqueurs fiables pour évaluer l'exposition. En effet, lors de l'analyse des vidéos, il apparaît que l'exposition se fait par pics sporadiques : celle-ci n'est pas linéaire et des pratiques très furtives (essuyage du tuyau souillé ou mains placées sous le flux de rinçage des bidons) expliquent des contaminations élevées (ex. agriculteur numéro 2). Ceci confirme les précédentes études, présentées au chapitre sur l'exposition des viticulteurs.

4/ **Les limites des modèles** pour l'évaluation des pratiques de terrain. Déterministes et conçus pour une évaluation en bonnes pratiques, les modèles se heurtent aux écarts réalisés par les viticulteurs vis-à-vis de ces bonnes pratiques. Lorsque le viticulteur se comporte avec des pratiques proches de celles des bonnes pratiques, l'exposition, bien que sous-évaluée par les modèles, reste proche de ce qui a pu être observé lors des campagnes de prélèvement (cas du viticulteur 6 par exemple). En revanche, les écarts observés (mésusage du tuyau, non port des EPI etc.) ne peuvent pas être pris en considération par les modèles, expliquant les forts écarts entre les modélisations et les mesures de terrain.

Caractérisation du risque chez les utilisateurs de folpel

Les données des mesures de terrain chez les utilisateurs de folpel permettent de faire une évaluation de risque chez ces utilisateurs (Boissonnot et Grimbuhler 2012b). L'ensemble des composants de l'EQRS sont réunis (voir Figure 8) : le critère de danger pour le folpel est connu, la VTR est disponible (voir Tableau 21) et les résultats des mesures d'expositions sur les mains détaillent l'exposition des viticulteurs à cette substance.

Cette caractérisation a pour objectif de déterminer dans quelle mesure les pratiques et comportements peuvent influencer le risque, afin de répondre à l'un des objectifs de la thèse : la perception est-elle un facteur important ou négligeable dans le processus d'exposition.

Méthodologie

Le modèle d'évaluation du risque réel est le même que celui développé dans l'EQRS, qui utilise les résultats des modélisations informatiques pour la mesure de l'exposition. Ce modèle est repris et modifié en fonction des paramètres propres à chaque agriculteur observé sur le terrain : le nombre d'années d'expérience du viticulteur (en appliquant celui relevé lors des observations), le port des EPI selon les étapes du traitement, les doses employées, la surface des raisins blancs de chaque exploitation (le folpel n'étant autorisé que sur les raisins blancs), la taille de la cuve, le volume de la préparation et le nombre de passages nécessaires afin de traiter toute la surface de l'exploitation sont les paramètres intégrés dans le modèle. Les calculs sont regroupés en annexe XII.

Résultats

Le Tableau 41 récapitule les excès de risque individuels (ERI) des trois opérateurs observés. Ce tableau propose les résultats selon deux cas : lorsque le folpel passe intégralement à travers la peau, et lorsque le folpel passe à hauteur de 10 % de la dose reçue. Le passage transdermique du folpel chez l'homme n'est pas établi. La VTR utilisée est donnée par l'US-EPA pour la voie orale, et une transposition de voie de cette VTR est effectuée pour pouvoir caractériser le risque chez les viticulteurs. Pour certains produits phytopharmaceutiques, les données de passages transdermiques sont disponibles. C'est le cas du cuivre pour lequel l'AMM indique clairement qu'une dose reçue sur la peau traverse à hauteur de 10 %. Pour le folpel, peu de données sont disponibles. Quelques études chez l'animal montrent un passage transdermique très différent (Shah, Fisher *et al.* 1987 ; Berthet, Bouchard *et al.* 2011). Les

valeurs varient sensiblement et devant les incertitudes entourant le passage transdermique du folpel, deux ERI sont proposées. Celle à 100 %, qui correspond au scénario le plus protecteur et celle à 10 %, une valeur souvent utilisée pour de nombreux produits phytopharmaceutiques tels que le cuivre comme indiqué tableau 42.

Tableau 41 : ERI calculés des 3 opérateurs ayant manipulé du folpel.

<i>Exploitation</i>	Etape du traitement	Dose reçue	Dose sur peau mesurée	ERI 100 %	ERI 10 %
		en mg	en mg		
2*	3 préparations de cuves	4 096,87	40,97	$3,871^{-4}$	$3,871^{-5}$
3	préparation et pulvérisation	116,47	1,16	$5,421^{-6}$	$5,421^{-7}$
13	préparation et pulvérisation	678,32	678,83	$3,721^{-3}$	$3,721^{-4}$

ERI 100 % =ERI calculée pour une dose reçue sur la peau passant à 100 % à travers la peau, ERI 10 % = ERI calculée pour une dose de folpel reçue sur la peau passant à 10 % à travers la peau. *Pour le viticulteur numéro 2, celui-ci ayant préparé 3 cuves distinctes de folpel dans la journée, le résultat est présenté pour l'ensemble de ces 3 préparations sous forme du total de folpel reçu dans la journée.

L'ERI pour les viticulteurs 2 et 13 dépasse le seuil d'acceptabilité, qui est $>10^{-5}$, quelle que soit la valeur de passage transdermique retenue. Ces résultats confirment plusieurs points :

-L'importance des EPI, qui, dans le cas du viticulteur numéro 3, permette de rester dans des ERI inférieur à 10^{-5} .

-Le viticulteur numéro 13 présente les ERI les plus élevés. Sans gant, et quel que soit le niveau de folpel passant à travers la peau, ses ERI dépassent le seuil d'acceptabilité. Ce résultat traduit le niveau d'exposition élevée de cet agriculteur observé lors de la phase de mesures de l'exposition.

La situation est plus complexe pour l'opérateur numéro 2. Bien que celui-ci ait porté des gants, il s'est fortement exposé à la bouillie. Comme cela est montré dans la précédente partie, cet agriculteur expose ses EPI à la bouillie estimant que ceux-ci le protègent parfaitement. La dose très élevée reçue sur les gants aboutit à un excès de risque, et ceci malgré la réduction à 1 % de la dose reçue sur la peau grâce au port des gants (la dose totale reçue sur la peau est réduite à 1 % de la dose totale, cette réduction qui est appliquée dans les modèles est reprise ici). Bien que la dose reçue sur la peau soit inférieure à celle du viticulteur numéro 13, le viticulteur 2 travaille sur une surface de 30 ha, contre 6 pour le viticulteur 13. Cette surface conséquente implique plus de préparation de bouillie, plus de manipulations de produits phytopharmaceutiques ce qui au final expose plus fortement le viticulteur.

Dans ce scénario, l'ERI est acceptable pour le viticulteur numéro 3, quels que soient les scénarios développés. Cela montre que travailler en se souciant de réduire son exposition se traduit par un risque lié aux produits phytopharmaceutiques acceptable, conformément aux prévisions des modèles.

Limites

La grande diversité des pratiques observées lors des traitements de terrain rend difficile l'interprétation des résultats des mesures de terrain en se focalisant uniquement sur les données brutes issues des résultats de dosage des échantillons. De plus, le faible nombre d'échantillons ne permet pas de tirer de conclusions statistiquement significatives.

L'évaluation de risque basée sur les mesures d'exposition comporte aussi plusieurs incertitudes :

-La VTR utilisée est une VTR pour la voie orale : (US-EPA 1993a). Les données de la littérature et ce travail se basent sur l'exposition dermique du folpel. Devant les incertitudes concernant le passage du folpel à travers la peau, celui-ci est considéré comme étant de 100 %. Cette valeur est utilisée lors de l'AMM pour les modélisations lorsque le taux de passage transdermique d'une substance est inconnu. Cette transposition de voie d'exposition introduit des incertitudes, puisque le passage réel du folpel à travers la peau n'est pas déterminé. Chez le rat, l'exposition répétée au folpel a montré une hyperkératose, et serait difficilement absorbée par la peau (US-EPA 1999).

-Le nombre de traitements annuels. Bien que lors des prélèvements de terrain, les viticulteurs aient déclaré se servir du folpel 3 fois par an, soit le maximum autorisé, il est difficile de connaître le nombre de traitements au folpel pour toutes les années depuis que les viticulteurs ont commencé leur activité. De plus, c'est une donnée propre à chaque agriculteur, peu utile pour une évaluation générale du risque. Le metriam-zinc est un fongicide utilisé alternativement au folpel, et il n'est pas rare que celui-ci remplace ou complète un traitement au folpel selon les années. Les viticulteurs se fient très souvent aux conseils de leur technicien de coopérative qui fournit les produits phytopharmaceutiques. En fonction des années et des approvisionnements de la coopérative, le folpel remplace le metriam-zinc, et vice-versa. Dès lors, le nombre de 3 traitements par an au folpel (retenu dans le modèle) est surprotecteur mais s'inscrit dans un cadre de scénario pire-cas.

Contrairement à ce qui était attendu, peu de traitements au folpel ont eu lieu. Cet antifongique a été remplacé par du cuivre, devant le nombre de traitements à effectuer cette année. Le cuivre est moins couteux que le folpel, ce qui explique sa forte utilisation en cas de traitements intensifs. L'ensemble de ces paramètres et les contraintes organisationnelles liées aux prélèvements constituent les facteurs limitant du nombre d'observation possibles durant une campagne de traitement

-L'exposition à chaque remplissage de cuve. Cette évaluation suppose que l'exposition est identique pour chaque remplissage de cuve, pour chaque traitement, d'année en année. Bien que les gestes soient répétitifs, la précédente analyse des résultats des dosages a montré que l'exposition peut varier sensiblement pour une même tâche. Dans le cas des viticulteurs 3 et 13 présentés ici, n'ayant qu'un traitement observé, il n'est pas possible de savoir si cette exposition est normale, sur ou sous-évaluée. Cette incertitude sur la reproductibilité des tâches observées est importante.

-La surface à traiter. Elle détermine le nombre de traitements, et donc le nombre de remplissages. Or, la superficie des exploitations des viticulteurs varient : vente ou achat de terres, reconversion de parcelles, jachères, replantage de pieds de vigne etc. La surface à traiter en folpel n'est pas la même sur l'ensemble de la carrière du viticulteur. Elle est considérée comme fixe dans ce modèle d'évaluation.

-Le matériel utilisé. Le matériel évolue et le viticulteur peut changer ou modifier son pulvérisateur suivant son parcours professionnel. Les contraintes ergonomiques des différents matériels sont différentes, aboutissant à des expositions variables selon le matériel. Par exemple, la simple présence d'une poignée sur la cuve pour monter sur celle-ci permet d'éviter au viticulteur de se servir de l'orifice d'incorporation, particulièrement contaminé. Les photos, Figure 36, illustrent des contraintes d'exposition pouvant aboutir à des expositions liées au matériel et à sa conception.



A gauche, le viticulteur monte sur la cuve en s'agrippant, mais gauche, à l'orifice d'incorporation, exposant son gant à la bouillie. A droite, la cuve dispose d'une poignée permettant à le viticulteur de monter sur la cuve sans utiliser l'orifice d'incorporation.

Figure 36 : Contraintes ergonomiques liées à la conception des cuves

L'ensemble de ces incertitudes réduit fortement la pertinence de l'évaluation de risque réalisée ici. Cette évaluation n'a pas valeur définitive, mais seulement indicative sur les comportements et les pratiques de sécurité modifiant sensiblement l'exposition. Il s'agissait ici de quantifier l'importance des modifications.

Concernant les prélèvements chez les viticulteurs, plusieurs limites sont montrées lors de la campagne de prélèvement sur le terrain, et principalement des difficultés de recrutement pour les échantillonnages. L'année 2012 a été marquée par des conditions météorologiques particulièrement favorables au développement des champignons. De nombreux traitements ont dû se faire en urgence, et les viticulteurs ne nous ont pas toujours prévenu ces changements de dernière minute, réduisant les possibilités d'échantillonnages. De plus, le traitement et l'usage des produits phytopharmaceutiques sont des aspects du travail vécus comme négatifs par les viticulteurs concernant l'image du métier. Certains viticulteurs n'ont pas souhaité que nous observions les traitements, mais ont accepté de nous rencontrer hors période de traitement.

Pour gagner du temps lors de la préparation de la bouillie, certains viticulteurs pré-remplissent leur cuve ou dosent les produits phytopharmaceutiques la veille. Dans ce cas, l'exposition mesurée n'est pas entièrement représentative de l'activité totale du traitement puisque une partie de la préparation n'est pas prise en compte.

Conclusions

Les résultats de mesures de terrain sont complémentaires des modélisations proposées dans cette thèse. Les modélisations permettent de quantifier le risque lié aux bonnes pratiques et certaines de leurs dégradations (port incomplet des EPI), mais ne peuvent pas prendre en compte toutes les pratiques «a risque » que les viticulteurs développent, puisque les modèles sont construits dans le but d'évaluer le risque dans le cadre des bonnes pratiques.

Aussi les observations et les mesures d'exposition ont permis d'évaluer, respectivement, la dérive des viticulteurs vis-à-vis des bonnes pratiques et les conséquences sanitaires. Le modèle d'évaluation du risque (MERR) est validé dans ce chapitre. En effet, lorsque les utilisateurs respectent les bonnes pratiques (telles que le respect des doses et l'usage des EPI), les valeurs issues du MERR sont proches de celles des modèles utilisés pour l'évaluation des risques lors de la mise sur la marché des substances actives.

Ainsi validé, le MERR a permis de quantifier le risque lié aux écarts des viticulteurs vis-à-vis des bonnes pratiques sous l'influence de la perception. Cependant, devant la diversité des viticulteurs, de leurs pratiques, de leurs matériels et de leur perception du risque, et le faible nombre d'échantillons il n'est pas pertinent de généraliser ces résultats. Ces résultats préliminaires, et exploratoires, indiquent que le risque sanitaire est sensiblement associé à la perception de celui-ci.

Il faut mettre en perspective le risque phytopharmaceutique face aux nombreux autres dangers auxquels les viticulteurs sont exposés. Le risque phytosanitaire est celui qui préoccupe le plus les viticulteurs, mais n'est pas pourtant le plus statistiquement significatif. Les risques physiques (Waggoner, Kullman *et al.* 2011), et les maladies cardiovasculaires sont plus importants (Tableau 7), (INVS 2006). Plus généralement, la pollution et les produits industriels comptent pour près de 1 % à 5 % des cancers selon les études considérées. L'étude COSMOP tend aussi à montrer que les risques de mortalité par cancer chez les viticulteurs demeurent statistiquement moins élevés que d'autres pathologies. Ces résultats sont rappelés Tableau 42.

Tableau 42 : Effectif et risque relatif des cancers et autres pathologies observés dans l'étude COSMOP 2010 chez les viticulteurs.

Hommes			Femmes		
	n =	RR		n =	RR
Observés	8 395		Observées	3174	
mortalité globale	8 395	0,95	mortalité globale	3174	1,07
cancer toutes localisations	2253	0,77	cancer toutes localisations	737	0,88
cardiopathie ischémique	863	0,88	maladie vasculaire cérébrale	436	1,27
autre maladie cardiaque et / ou hypertensive	937	1,18	maladie de l'appareil respiratoire	168	1,21
maladie vasculaire cérébrale	861	1,15	maladie chronique du foie	38	0,68
bronchopathie chronique obstructive	243	1,22	mort violente	227	1,25
maladie chronique du foie	229	0,79	suicide	70	1,87
mort violente	790	1,29			
suicide	261	1,46			

RR = Risque Relatif

Le risque cancérogène chez les viticulteurs, lié aux produits phytopharmaceutiques, peut être relativisé par rapport à d'autres formes de risques. Ainsi, le tabac représente à lui seul un cancer sur quatre chez l'homme et 90 % des cancers du poumon (Hill et Laplanche 2003 ; Hill, Doyon *et al.* 2009).

Le principal risque sanitaire chez les viticulteurs est celui de l'accident du travail. L'étude de 2011 sur les accidents mortels d'origine professionnelle en France de l'InVS indique que le secteur de l'agriculture présente le taux de mortalité par accident du travail chez l'homme le plus élevé en France (Brière, Chevalier *et al.* 2011). Ainsi chaque année, c'est 28 décès par accident sur 100 000 salariés qui sont comptabilisés dans cette population. Les accidents avec des véhicules (chute de tracteurs, accidents lors des déplacements sur les parcelles) sont les plus importants avec 5,8 décès pour 100 000 personnes par an. Les accidents liés à la spécificité du métier d'agriculteur (écrasement par des arbres ou des animaux, asphyxies, noyades) y sont aussi surreprésentés avec 10,8 cas pour 100 000. Ce risque accidentel supérieur au risque de développer des maladies en lien avec l'activité agricole est aussi soulevé dans l'étude de l'AHS (Waggoner, Kullman *et al.* 2011).

Conclusion et perspectives

Conclusion

La France est le premier utilisateur des produits phytopharmaceutiques en Europe, avec près de 62 000 tonnes utilisées en 2010. Cet usage important est directement lié à sa surface agricole utile, la plus élevée d'Europe et la France est dans la moyenne des autres pays de l'UE avec 3,2 kg de substances actives utilisées par hectare de terres labourables, vigne et arboriculture. 90 % des produits phytopharmaceutiques sont utilisés par l'agriculture, et les viticulteurs sont donc les premiers concernés par les risques liés à ces produits. Parmi ces risques figurent les risques chroniques, comme certains types de cancers et les maladies neurodégénératives. Les études montrent que leurs incidences sont probablement augmentées par les produits phytopharmaceutiques, même si de nombreuses incertitudes entourent les données épidémiologiques et toxicologiques. Le cancer est la pathologie liée aux produits phytopharmaceutiques sur laquelle les études, chez les viticulteurs, sont les plus avancées à ce jour. Cependant, les données restent incomplètes et ne permettent pas de tirer des conclusions définitives sur le rôle exact de ces substances chez l'homme. De plus, pour quelques cancers spécifiques (cancers hématologiques en particulier), les données sont contradictoires, même si la plupart des travaux indiquent une augmentation de l'incidence de ce type de cancer.

Cette thèse s'est focalisée sur les risques de cancer chez les viticulteurs pour y évaluer plus précisément le rôle des produits phytopharmaceutiques. Les conséquences sanitaires des comportements influencées par la perception du risque ont été évaluées dans ce travail exploratoire. Le choix s'est porté sur une culture ayant recours à de fréquents traitements pour évaluer l'exposition auprès des viticulteurs les plus concernés par ce risque. Avec en moyenne 10 à 15 traitements annuels, la population viticole est l'une des plus exposées aux produits phytopharmaceutiques en France, et les viticulteurs ont été la cible de ce travail. Certains produits phytopharmaceutiques utilisés en viticulture (la viticulture représentant 80 % du total des fongicides vendus), ont un intérêt sanitaire au regard du critère de danger retenu. Plusieurs antifongiques sont apparus comme présentant un potentiel cancérigène probable (catégorie B2, en se référant aux classifications de l'US-EPA ou de l'IARC). Pour faciliter le choix des substances à étudier, une liste de 76 produits phytopharmaceutiques encore autorisés sur le marché et présentant un potentiel cancérigène probable ou possible a été créée afin de servir

de base dans la sélection des produits phytopharmaceutiques à étudier chez les viticulteurs. Parmi ces produits, le folpel est le produit retenu pour l'évaluation des risques, tant réels que perçus, de cette thèse. Cette partie du travail de sélection des produits phytopharmaceutiques d'intérêt sanitaire a montré la difficulté liée au manque de données toxicologiques des produits phytopharmaceutiques et au manque de pertinence des AOEL pour évaluer le risque carcinogène.

Évaluer le rôle sanitaire précis des produits phytopharmaceutiques demeure délicat, car le métier d'agriculteur expose à de nombreux agents cancérigènes (UV, gaz d'échappement etc...) autres que les produits phytopharmaceutiques, multipliant les biais. L'utilisation de la méthode d'évaluation quantitative des risques a permis de s'affranchir de ces biais en se focalisant sur le rôle précis des produits phytopharmaceutiques.

Pour ce travail, une quarantaine d'observations, d'enquêtes et de mesures d'exposition à été réalisée auprès de viticulteurs afin de confronter leur perception du risque à leurs pratiques et à leur exposition réelle aux produits phytosanitaires. Cette approche comparative des deux formes de risque a permis de déterminer le rôle de la perception sur les pratiques agricoles et l'impact de ces pratiques sur l'exposition et le risque sanitaire associé.

Le risque sanitaire dépend du degré d'exposition aux substances pathogènes et de leur toxicité intrinsèque. Dans le cas des produits phytopharmaceutiques, les études d'exposition indiquent que la préparation de la bouillie est la phase du traitement la plus exposante car cette étape expose les opérateurs aux produits sous forme concentrée. Les pratiques varient sensiblement chez les utilisateurs : les doses, la fréquence des traitements et le respect des prescriptions des bonnes pratiques agricoles sont difficilement généralisables. Cependant, les travaux montrent que l'exposition se fait essentiellement lors du remplissage de la cuve car les éclaboussures et les contacts avec les parties souillées des cuves sont importants lors de cette étape. La forme des substances est aussi un critère d'exposition. En effet, les produits sous forme de liquide exposent plus les opérateurs que les autres formes. La voie dermique est la première voie d'exposition des viticulteurs aux produits phytopharmaceutiques et la voie respiratoire ne représente qu'un pourcent de l'exposition totale aux produits phytosanitaires. Cependant, d'un point de vue perception, ce n'est pas le cas : la majorité des opérateurs estiment que la voie respiratoire est responsable de leur contamination : les signaux environnementaux, tels que l'odeur des substances employées, les conduisent à ce raisonnement empirique. Ce grand

décalage entre risques réel et perçu est à l'origine de comportements inadaptés de protection face au risque sanitaire.

Les observations montrent aussi que les viticulteurs n'ont pas conscience de la contamination de leur environnement. En effet, si les opérateurs se protègent de la contamination directe (déballage et manipulation des produits phytosanitaires, remplissage de la cuve), cette protection n'est pas faite vis-à-vis de l'exposition indirecte. Le phénomène de contamination indirecte n'est pas pris en compte par les opérateurs observés. Ainsi, même chez les opérateurs porteurs de protection individuelle, une contamination importante de la peau sous les gants a été mise en évidence lors des mesures d'expositions. Ceci montre que la contamination indirecte n'a pas été intégrée par les opérateurs.

Les EPI sont pour les viticulteurs un moyen efficace et sûr de réduire leur exposition. L'usage qu'ils en font est dépendant des produits employés et du risque sanitaire perçu associé. Pour les produits perçus comme dangereux, l'usage des EPI sera plus élevé que pour des produits perçus comme sans danger. L'utilisation du masque est la plus répandue, puisque la voie respiratoire est perçue comme principale source d'exposition.

Sur l'aspect de la perception du risque par les viticulteurs, cette thèse visait à décrire les mécanismes de la perception et leur influence sur l'exposition aux produits phytopharmaceutiques. Les craintes des viticulteurs vis-à-vis des produits phytopharmaceutiques apparaissent très éloignées des données toxicologiques réelles. Ainsi, le risque de développer un cancer en lien avec l'usage des produits phytopharmaceutiques est la crainte redoutée par 80 % d'entre eux en opposition avec les différentes études actuelles qui tendent à indiquer que, chez les agriculteurs français, le risque de cancer, toutes localisations confondues, est moindre que pour la population générale. Même si des doutes subsistent pour certains types de cancer, le décalage entre les données sanitaires et la perception de ce risque par les viticulteurs est très marqué : les viticulteurs interrogés sont persuadés que les cancers développés dans le milieu agricole le sont du fait de leur usage passé des produits phytopharmaceutiques. Pour évaluer le risque, les viticulteurs se basent sur des déterminants empiriques : l'odeur, la forme et le type de produits : même la majorité des viticulteurs enquêtés ayant passé le Certiphyto (formation où la voie dermique est présentée comme voie majoritaire de pénétration des produits phytopharmaceutiques) continue de penser que la voie respiratoire est la principale source de leurs expositions. Les viticulteurs enquêtés présentent

une susceptibilité différente à ces déterminants mais, lorsqu'ils y sont sensibles, ce sont des marqueurs forts de perception négative. Par exemple un insecticide, odorant et sous forme de poudre sera perçu comme très dangereux à l'inverse d'un produit sans odeur et sous forme liquide sera plutôt perçu comme peu dangereux. Dans les deux cas, aucun lien scientifique n'existe entre ces facteurs de perception et la toxicité réelle.

Bien que les déterminants de la perception aient pu être identifiés et applicables à l'ensemble des viticulteurs, le processus aboutissant à leur perception du risque est très individualisé. Il est impossible de généraliser les mécanismes de perception, tant ceux-ci dépendent des croyances et connaissances de chacun.

En revanche, les conséquences sur les pratiques agricoles découlant de la perception sont plus facilement observables et mesurables. Les viticulteurs se fient à leur croyance vis-à-vis du risque de chaque produit phytopharmaceutique pour utiliser ou non les EPI. Des recommandations d'usage des EPI existent dans les fiches de données toxicologiques de chaque produit, mais la majorité des viticulteurs utilise les EPI, non pas en fonction de ces recommandations, mais en fonction de la perception du risque qu'ils ont des produits employés. Concrètement, les mesures d'exposition en fonction de l'usage des EPI lors des traitements ont permis de faire le lien entre la perception du risque, sa conséquence sur l'usage des EPI et l'exposition aux produits phytopharmaceutiques. Les résultats de l'évaluation quantitative des risques montrent que lors de l'usage des substances selon les recommandations, le risque sanitaire est acceptable y compris aux niveaux maximaux d'usage autorisé des substances actives.

Trente-sept viticulteurs ont été interrogés sur leur perception du risque et parmi eux, treize ont été observés lors de traitements et des prélèvements ont pu être effectués lors des pulvérisations. Ces prélèvements ont permis de déterminer le rôle de la perception sur l'exposition et d'aller plus loin que la seule observation des déterminants de la perception. Ces mesures ont permis d'observer les comportements réels des viticulteurs et la façon dont la perception influe sur leurs pratiques. Un modèle d'évaluation du risque a été créé pour caractériser le risque sanitaire en fonction des expositions mesurées. Il ressort que pour le folpel, l'usage de ce produit aux doses maximales autorisées sur l'ensemble de la vie professionnelle du viticulteur aboutit à un excès de risque sanitaire si le viticulteur ne porte jamais d'EPI. Les modélisations réalisées sont en accord avec les recommandations des fiches

de données de sécurité : l'usage des gants et d'une combinaison (casaque) suffit à rendre le risque acceptable, quel que soit l'usage réglementaire fait du folpel. Les modélisations ont permis de confirmer le rôle prépondérant des EPI dans la réduction du risque sanitaire. Le modèle développé dans ce travail est validé car les résultats observés lorsque les viticulteurs respectent les bonnes pratiques sont identiques à ceux issus des dossiers d'autorisation de mise sur le marché. Cette évaluation des risques a donc permis de mesurer le risque sanitaire lorsque les viticulteurs s'éloignent des bonnes pratiques.

Les résultats de ces mesures ont mis en lumière, au-delà des critères techniques (doses employées, itinéraires techniques, usage du matériel) et pratiques (respect de la technique, de l'usage des EPI, et des bonnes pratiques agricoles) un facteur non observable par les modélisations : le rôle majeur du comportement de l'opérateur sur l'exposition et le risque sanitaire associé

Chez certains viticulteurs, qui ont pourtant respecté l'usage des EPI, les doses et les bonnes pratiques de traitement, il a été observé des niveaux d'exposition aux produits phytopharmaceutiques très importants. Ces expositions très élevées, malgré le respect des bonnes pratiques, s'expliquent par la sensation de protection absolue que procurent les EPI. Cette sensation de sécurité aboutit à des comportements qui augmentent les contacts des EPI avec les produits phytopharmaceutiques. Ces contaminations fortes des EPI finissent à leur tour par contaminer les viticulteurs car ils n'ont pas conscience du phénomène de contamination indirecte. Lors du retrait des EPI ou lorsque les opérateurs utilisent leurs tracteurs, ceux-ci contaminent l'environnement. Cette contamination indirecte est montrée par les mesures d'exposition environnementales qui ont toutes révélé une présence de substances sur des mains des viticulteurs avant toute manipulation des EPI.

Le port des EPI étant directement lié à la perception, ces mesures, les modélisations et le modèle d'évaluation des risques développés font le lien entre perception et exposition. Ce travail démontre le rôle majeur de la perception sur l'exposition et au risque sanitaire associé lié aux produits phytopharmaceutiques.

Perspectives

Ce travail peut être poursuivi afin de valider les observations réalisées. En effet, les résultats proposés ici doivent être confirmés statistiquement par des observations et mesures en plus grand nombre. Plusieurs types de mesures et observations pourraient valider les tendances observées.

À court terme, sur une campagne de traitement :

- Effectuer des mesures répétées sur un même opérateur. Dans ce travail, seul un traitement par agriculteur a pu être observé. Si cela a permis de montrer le rôle des EPI sur l'exposition, le renouvellement des observations sur un même opérateur devrait permettre de mieux connaître l'impact de la répétition des tâches sur les pratiques et d'isoler les pratiques à risque.
- Observer des traitements avec des produits différents, chez un même opérateur. Dans ce travail, seul un opérateur a pu être observé lors de l'utilisation du folpel (perçu comme dangereux) puis de bouillie bordelaise (perçue comme saine). L'observation de plusieurs traitements avec des produits perçus différemment permettrait de quantifier les différences de comportements selon les produits employés
- Évaluer le mésusage des EPI. La mauvaise utilisation des EPI est un élément clef de l'exposition aux pesticides. L'observation de façon répétée de l'utilisation des EPI pourrait aider à comprendre les mécanismes du mauvais usage de ceux-ci, et dans quelle proportion ce mésusage modifie l'exposition.

Ce travail pourrait être complété avec des études sur l'ergonomie du matériel, des EPI et de l'organisation du travail. En effet, d'autres critères tels que le confort des EPI ont été cités lors des observations pour expliquer leur non utilisation.

À moyen et long terme, sur plusieurs campagnes de traitement :

- Observer et réaliser des prélèvements sur un plus grand nombre d'opérateurs, afin d'apporter un résultat statistiquement significatif. Ceci permettra d'isoler d'éventuels comportements récurrents et ainsi de mieux comprendre les mécanismes de la perception, de valider les

résultats de ce travail. Des profils de risque pourraient ainsi être mis à jour et permettre de mieux cibler les opérateurs dans les campagnes de prévention et les formations.

- Étendre le spectre des produits observés. Ce travail s'est focalisé sur deux produits à la perception opposée : le folpel perçu comme dangereux, et la bouillie bordelaise perçue comme sans danger sanitaire. L'observation chez des utilisateurs d'autres pesticides pourrait mettre en évidence des comportements et pratiques avec des produits à la perception intermédiaire.

- Lors des entretiens, les cultures raisonnée et biologique sont apparues comme des alternatives pour réduire l'usage des produits phytosanitaires. Cette réduction d'usage, tout comme l'utilisation de produits perçus comme sains en agriculture biologique, pourrait aboutir à des pratiques moins protectrices. La baisse de vigilance et les modifications des pratiques suite au changement de type de culture seraient un axe à développer.

- Sur les mesures d'exposition aux produits phytopharmaceutiques, les campagnes de prélèvement peuvent se focaliser sur le rôle de l'environnement de travail sur la contamination globale. Si les mesures effectuées pour ce travail montrent une contamination environnementale (cabines, tuyaux de remplissage des cuves), des mesures plus précises et sur d'autres matériaux, tels que les emballages des produits qui peuvent être particulièrement souillés, pourraient permettre de mieux détailler le processus d'exposition global aux pesticides.

Pour aller plus loin, les mesures d'exposition et les résultats des modélisations peuvent être affinés. En effet, les scénarios d'exposition employés dans ce travail se basent sur une utilisation des produits phytosanitaires (le folpel et le cuivre) à un usage maximal autorisé par la réglementation, sur toute une vie professionnelle. Or les observations de terrain indiquent que l'usage des substances actives varie sensiblement au cours des périodes professionnelles d'un agriculteur. La commercialisation de nouvelles molécules sur le marché, de nouvelles formes commerciales, l'apparition de résistance et les modifications réglementaires quant aux doses autorisées (souvent revues à la baisse) rendent les modélisations réalisées dans ce travail peu représentatives de l'exposition réelle des viticulteurs sur leur vie professionnelle. Si le choix a été fait dans le cadre d'une évaluation du risque "pire-cas", le développement de matrices recensant l'emploi réel des substances en fonction des cultures, régions, période de l'année et type d'utilisation devrait permettre d'affiner les résultats aux pratiques réelles des

agriculteurs. De plus la caractérisation du risque suppose dans ce travail que les agriculteurs ne changent pas de type de culture sur toute leur vie professionnelle. Ce dernier point doit aussi être intégré dans l'évaluation du risque, quand aux choix des durées d'exposition aux substances étudiées.

Parallèlement aux observations, l'information et la formation des viticulteurs concernant leur perception du risque doivent être développées. Si dans les formations actuelles, et notamment le Certiphyto, l'aspect scientifique de la perception et de l'exposition est présenté, la portée de ces messages est limitée. Les messages de prévention doivent insister sur les « faux-amis » de la perception que sont l'odeur, la couleur ou encore l'efficacité des produits employés. La prise de conscience de la contamination indirecte par l'environnement (cabine du tracteur en particulier) doit aussi être développée.

Au regard des autres formes de risque lié à l'agriculture, le risque phytosanitaire n'apparaît pas comme le plus important. Focaliser l'attention des viticulteurs sur les risques mécaniques, et les appeler à ne pas négliger celui-ci face au risque phytosanitaire pourrait permettre d'éviter de nombreux accidents.

D'un point de vue psychologique les observations et entretiens de terrain ont fait ressortir un stress et une tension permanents de la part des viticulteurs, lié à l'usage des produits phytopharmaceutiques. La perception d'un risque grave conduit à son acceptation fataliste et à l'attente des conséquences sur la santé. Les conséquences psychosomatiques de ces conditions de travail devraient être étudiées

Références

- Abdollahi, M., Ranjbar, A., Shadnia, S., Nikfar, S. & Rezaie, A. (2004). Pesticides and oxidative stress: A review. *Medical Science Monitor*, 10, RA141-RA147.
- Acquavella, J., Olsen, G., Cole, P., Ireland, B., Kaneene, J., Schuman, S. *et al.* (1998). Cancer among farmers: A meta-analysis. *Annals of Epidemiology*, 8, 64-74.
- ACTA (2013). *Index Phytosanitaire de l'Association de Coordination Technique Agricole 2013*. Paris. 2010 edn. ACTA.
- AFNOR (2006). Lignes directrices pour l'estimation des risques. *normalisation française*, FD X 50-252.
- AFSSET (2010a). Efficacité de protection chimique des combinaisons de type 3 et de type 4. Saisine n° "2007/AC018". *Rapport d'appui scientifique et technique*.
- AFSSET (2010b). Méthode de construction de valeurs toxicologiques de référence (VTR) pour les substances chimiques cancérigènes. *Rapport d'expertise collective - Avis de l'Afsset*, Auto-Saisine Afsset n° « 2004/AS16 ».
- AFSSET & InVS (2005). Rapport sur l'estimation de l'impact sanitaire d'une pollution environnementale et évaluation quantitative des risques sanitaires. Septembre 2005.
- Agreste (2008). Principales cultures en 2007. *Agreste - Enquêtes structures 2007*.
- Agreste (2009). Pratiques culturales viticulture en 2006 - Chiffres et Données. In: *Série Agriculture n° 204 mars 2009* Agreste.
- Agriprotect, ESA, Drugeon, P. & Sarrazin, F. (2008). Le risque phytosanitaire chez les agriculteurs : entre "culture pratique" et "culture savante" AGRIPROTECT - Ecole Supérieure d'Agriculture d'Angers. Angers.
- Al-Haddad, S.A. & Al-Sayyad, A.S. (2013). Pesticide handlers' knowledge, attitude and practice. *Bahrain Medical Bulletin*, 35.
- Alavanja, M.C.R. & Bonner, M.R. (2012). Occupational pesticide exposures and cancer risk: A review. *Journal of Toxicology and Environmental Health - Part B: Critical Reviews*, 15, 238-263.
- Alavanja, M.C.R., Dosemeci, M., Samanic, C., Lubin, J., Lynch, C.F., Knott, C. *et al.* (2004). Pesticides and lung cancer risk in the agricultural health study cohort. *American Journal of Epidemiology*, 160, 876-885.
- Alavanja, M.C.R., Ross, M.K. & Bonner, M.R. (2013). Increased cancer burden among pesticide applicators and others due to pesticide exposure. *CA Cancer Journal for Clinicians*, 63, 120-142.
- Alavanja, M.C.R., Sandler, D.P., Lynch, C.F., Knott, C., Lubin, J.H., Tarone, R. *et al.* (2005). Cancer incidence in the Agricultural Health Study. *Scandinavian Journal of Work, Environment and Health*, 31, 39-45.
- Alavanja, M.C.R., Sandler, D.P., McMaster, S.B., Zahm, S.H., McDonnell, C.J., Lynch, C.F. *et al.* (1996). The agricultural health study. *Environmental Health Perspectives*, 104, 362-369.
- Albertini, R., Bird, M., Doerr, N., Needham, L., Robinson, S., Sheldon, L. *et al.* (2006). The use of biomonitoring data in exposure and human health risk assessments. *Environmental Health Perspectives*, 114, 1755-1762.

- Alikhan, A., Farahmand, S. & Maibach, H.I. (2009). Correlating percutaneous absorption with physicochemical parameters in vivo in man: Agricultural, steroid, and other organic compounds. *Journal of Applied Toxicology*, 29, 590-596.
- Amaral Mendes, J.J. (2002). The endocrine disruptors: A major medical challenge. *Food and Chemical Toxicology*, 40, 781-788.
- Andersson, H. (2011). Perception of Own Death Risk: An Assessment of Road-Traffic Mortality Risk. *Risk Analysis*, 31, 1069-1082.
- Angerer, J., Ewers, U. & Wilhelm, M. (2007). Human biomonitoring: State of the art. *International Journal of Hygiene and Environmental Health*, 210, 201-228.
- ANM (2007). Les Causes du Cancer en France. Paris.
- ANSES (2010). Agence nationale de sécurité sanitaire : Portail des bases de données de propriétés des pesticides. *Synthèse et recommandations du comité d'orientation et de prospective scientifique de l'observatoire des résidus de pesticides*, 54p.
- Anway, M.D., Cupp, A.S., Uzumcu, N. & Skinner, M.K. (2005). Toxicology: Epigenetic transgenerational actions of endocrine disruptors and male fertility. *Science*, 308, 1466-1469.
- Aprèa, C., Centi, L., Santini, S., Lunghini, L., Banchi, B. & Sciarra, G. (2005). Exposure to omethoate during stapling of ornamental plants in intensive cultivation tunnels: Influence of environmental conditions on absorption of the pesticide. *Archives of Environmental Contamination and Toxicology*, 49, 577-588.
- Aprèa, C., Terenzoni, B., De Angelis, V., Sciarra, G., Lunghini, L., Borzacchi, G. et al. (2004). Evaluation of skin and respiratory doses and urinary excretion of alkylphosphates in workers exposed to dimethoate during treatment of olive trees. *Archives of Environmental Contamination and Toxicology*, 48, 127-134.
- Aprèa, M.C. (2012). Environmental and biological monitoring in the estimation of absorbed doses of pesticides. *Toxicology Letters*, 210, 110-118.
- Arcury, T.A., Quandt, S.A. & Russell, G.B. (2002). Pesticide safety among farmworkers: Perceived risk and perceived control as factors reflecting environmental justice. *Environmental Health Perspectives*, 110, 233-240.
- Ashley, K., Brisson, M.J. & White, K.T. (2011). Review of standards for surface and dermal sampling. *Journal of ASTM International*, 8.
- Atkinson, R., Guicherit, R., Hites, R.A., Palm, W.U., Seiber, J.N. & De Voogt, P. (1999). Transformations of pesticides in the atmosphere: A state of the art. *Water, Air, and Soil Pollution*, 115, 219-243.
- Attaran, A., Roberts, D.R., Curtis, C.F. & Kilama, W.L. (2000). Balancing risks on the backs of the poor. *Nature Medicine*, 6, 729-731.
- Aubertot J.N., B.J.M., Carpentier A., Gril J.J., Guichard L., Lucas P., Savary S., Savini I., Voltz M. (2005). Pesticides, agriculture et environnement. Réduire l'utilisation des pesticides et limiter leurs impacts environnementaux. In: *Rapport d'Expertise scientifique collective, INRA et Cemagref*. INRA et Cemagref, p. 90.
- Bagchi, D., Bagchi, M., Hassoun, E.A. & Stohs, S.J. (1995). In vitro and in vivo generation of reactive oxygen species, DNA damage and lactate dehydrogenase leakage by selected pesticides. *Toxicology*, 104, 129-140.
- Bakry, N.M., el-Rashidy, A.H., Eldefrawi, A.T. & Eldefrawi, M.E. (1988). Direct actions of organophosphate anticholinesterases on nicotinic and muscarinic acetylcholine receptors. *Journal of biochemical toxicology*, 3, 235-259.

- Baldi, I. & Lebailly, P. (2007). Cancers and pesticides. *Cancers et pesticides*, 57, 40-44.
- Baldi, I., Lebailly, P., Jean, S., Rougetet, L., Dulaurent, S. & Marquet, P. (2006). Pesticide contamination of workers in vineyards in France. *Journal of Exposure Science and Environmental Epidemiology*, 16, 115-124.
- Baldi, I., Lebailly, P., Rondeau, V., Bouchart, V., Blanc-Lapierre, A., Bouvier, G. et al. (2012). Levels and determinants of pesticide exposure in operators involved in treatment of vineyards: results of the PESTEXPO Study. *J Expos Sci Environ Epidemiol*, 22, 593-600.
- Banerjee, B.D., Seth, V. & Ahmed, R.S. (2001). Pesticide-induced oxidative stress: Perspectives and trends. *Reviews on Environmental Health*, 16, 1-40.
- Bardin, P.G., Van Eeden, S.F., Moolman, J.A., Foden, A.P. & Joubert, J.R. (1994). Organophosphate and carbamate poisoning. *Archives of Internal Medicine*, 154, 1433-1441.
- Bassil, K.L., Vakil, C., Sanborn, M., Cole, D.C., Kaur, J.S. & Kerr, K.J. (2007). Cancer health effects of pesticides: Systematic review. *Canadian Family Physician*, 53, 1705-1711.
- Bémer, D., Fismes, J., Subra, I., Blachère, V. & Protois, J.C. (2007). Pesticide aerosol characteristics in the vicinity of an agricultural vehicle cab during application. *Journal of Occupational and Environmental Hygiene*, 4, 476-482.
- Benachour, N. & Séralini, G.E. (2009). Glyphosate formulations induce apoptosis and necrosis in human umbilical, embryonic, and placental cells. *Chemical Research in Toxicology*, 22, 97-105.
- Berger-Preiß, E., Boehncke, A., Könnecker, G., Mangelsdorf, I., Holthenrich, D. & Koch, W. (2005). Inhalational and dermal exposures during spray application of biocides. *International Journal of Hygiene and Environmental Health*, 208, 357-372.
- Berthet, A., Bouchard, M. & Vernez, D. (2011). Toxicokinetics of captan and folpet biomarkers in dermally exposed volunteers. *Journal of Applied Toxicology*, n/a-n/a.
- Blair, A. & Freeman, L.B. (2009). Epidemiologic studies in agricultural populations: Observations and future directions. *Journal of Agromedicine*, 14, 125-131.
- Blair, A. & Zahm, S.H. (1991). Cancer among farmers. *Occupational medicine (Philadelphia, Pa.)*, 6, 335-354.
- Boissonnot, R. & Grimbuhler, S. (2010). Exposition to carcinogenic pesticides of farmers: impact of risk perception. In: *International Conference on Agricultural Engineering 2010*. AgEng Clermont-Ferrand, France, p. 149.
- Boissonnot, R. & Grimbuhler, S. (2011). Exposition aux pesticides et perception du risque. In: *XXXXI^{ème} congrès du Groupe Français des Pesticides*. (ed. AgEng) Orléans.
- Boissonnot, R. & Grimbuhler, S. (2012a). Evaluation sanitaire de la perception du risque pesticide chez les viticulteurs. In: *XXXXII^{ème} congrès du Groupe Français des Pesticides*. Poitiers.
- Boissonnot, R. & Grimbuhler, S. (2012b). Pest risk perception assessment of vineyard workers. In: *International Conference on Agricultural Engineering 2012* (ed. AgEng). AgEng Valencia.
- Bolognesi, C. (2003). Genotoxicity of pesticides: A review of human biomonitoring studies. *Mutation Research - Reviews in Mutation Research*, 543, 251-272.
- Bonnefoy, N. (2012). Rapport d'information au nom de la mission commune d'information sur les pesticides et leur impact sur la santé et l'environnement. *Sénat, session ordinaire de 2012-2013*, 42.

- Bostrom, A. (1997). Risk perceptions: 'Experts' vs. 'lay people'. *Duke Environmental Law and Policy Forum*, 8, 101-113.
- Bouyer, M., Bagdassarian, S., Chaabanne, S. & Mullet, E. (2001). Personality Correlates of Risk Perception. *Risk Analysis*, 21, 457-466.
- Bradman, A. & Whyatt, R.M. (2005). Characterizing exposures to nonpersistent pesticides during pregnancy and early childhood in the National Children's Study: A review of monitoring and measurement methodologies. *Environmental Health Perspectives*, 113, 1092-1099.
- Bräuner, E.V., Mayer, P., Gunnarsen, L., Vorkamp, K. & Raaschou-Nielsen, O. (2011). Occurrence of organochlorine pesticides in indoor dust. *Journal of Environmental Monitoring*, 13, 522-526.
- Brière, J., Chevalier, A., Charbotel, J. & Imbernon, E. (2011). Des indicateurs en santé travail - Les accidents mortels d'origine professionnelle en France. Saint-Maurice: Institut de veille sanitaire., p. 24.
- Brouwer, D.H., Boeniger, M.F. & Van Hemmen, J. (2000). Hand wash and manual skin wipes. *Annals of Occupational Hygiene*, 44, 501-510.
- Brouwer, D.H., Marquart, H. & Van Hemmen, J.J. (2001). Proposal for an approach with default values for the protection offered by PPE, under European new or existing substance regulations. *Annals of Occupational Hygiene*, 45, 543-553.
- Brown, J.S., Gerrity, T.R., Bennett, W.D., Kim, C.S. & House, D.E. (1995). Dispersion of aerosol boluses in the human lung: Dependence on lung volume, bolus volume, and gender. *Journal of Applied Physiology*, 79, 1787-1795.
- Bull, S., Fletcher, K., Boobis, A.R. & Battershill, J.M. (2006). Evidence for genotoxicity of pesticides in pesticide applicators: A review. *Mutagenesis*, 21, 93-103.
- C, N. & Girault, J.-M. (2011). La normalisation du travail viticole à l'épreuve de la réduction de l'usage des pesticides. *Economie rurale*, 321, 29-41.
- Calviello, G., Piccioni, E., Boninsegna, A., Tedesco, B., Maggiano, N., Serini, S. *et al.* (2006). DNA damage and apoptosis induction by the pesticide Mancozeb in rat cells: Involvement of the oxidative mechanism. *Toxicology and Applied Pharmacology*, 211, 87-96.
- Campbell, J.L., Smith, M.A., Eiteman, M.A., Williams, P.L. & Boeniger, M.F. (2000). Comparison of solvents for removing pesticides from skin using an in vitro porcine model. *American Industrial Hygiene Association Journal*, 61, 82-88.
- Canal-Raffin, M., l'Azou, B., Jorly, J., Hurtier, A., Cambar, J. & Brochard, P. (2008). Cytotoxicity of folpet fungicide on human bronchial epithelial cells. *Toxicology*, 249, 160-166.
- Canal-Raffin, M., Receveur, M., Martinez, B., Titier, K., Ohayon, C., Baldi, I. *et al.* (2008). Quantification methods of folpet degradation products in plasma with HPLC-UV/DAD: Application to an in vivo toxicokinetic study in rats. *Journal of Chromatography B: Analytical Technologies in the Biomedical and Life Sciences*, 865, 106-113.
- Carpy, S.A., Kobel, W. & Doe, J. (2000). Health risk of low-dose pesticides mixtures: A review of the 1985-1998 literature on combination toxicology and health risk assessment. *Journal of Toxicology and Environmental Health - Part B: Critical Reviews*, 3, 1-25.
- Castillo-Cadena, J., González-Mercado, A.L., Hernández-Caballero, N., Juan, E.R.S., Álvarez-González, I. & Madrigal-Bujaidar, E. (2013). Immunotoxic damage in floriculturists

- exposed to pesticide mixtures. *Journal of Environmental Science and Health - Part B Pesticides, Food Contaminants, and Agricultural Wastes*, 48, 33-39.
- CCOHS (2005). What is an LD50 and LC50 ? Available at: <http://www.ccohs.ca/oshanswers/chemicals/ld50.html> Last accessed Juillet 2013.
- Cecconi, S., Paro, R., Rossi, G. & Macchiarelli, G. (2007). The effects of the endocrine disruptors dithiocarbamates on the mammalian ovary with particular regard to mancozeb. *Current Pharmaceutical Design*, 13, 2989-3004.
- Collotta, M., Bertazzi, P.A. & Bollati, V. (2013). Epigenetics and pesticides. *Toxicology*.
- Colosio, C., Birindelli, S., Campo, L., Fustinoni, S., De Paschale, G., Tiramani, M. *et al.* (2004). Biological monitoring of occupational exposure to mancozeb in agriculture. *Giornale Italiano di Medicina del Lavoro ed Ergonomia*, 26, 47-48.
- Colosio, C., Fustinoni, S., Birindelli, S., Bonomi, I., De Paschale, G., Mammone, T. *et al.* (2002). Ethylenethiourea in urine as an indicator of exposure to mancozeb in vineyard workers. *Toxicology Letters*, 134, 133-140.
- Colosio, C., Rubino, F.M., Alegakis, A., Ariano, E., Brambilla, G., Mandic-Rajcevic, S. *et al.* (2012). Integration of biological monitoring, environmental monitoring and computational modelling into the interpretation of pesticide exposure data: Introduction to a proposed approach. *Toxicology Letters*, 213, 49-56.
- Colosio, C., Tiramani, M., Brambilla, G., Colombi, A. & Moretto, A. (2009). Neurobehavioural effects of pesticides with special focus on organophosphorus compounds: Which is the real size of the problem? *NeuroToxicology*, 30, 1155-1161.
- Colosio, C., Visentin, S., Birindelli, S., Campo, L., Fustinoni, S., Mariani, F. *et al.* (2006). Reference values for ethylenethiourea in urine in Northern Italy: Results of a pilot study. *Toxicology Letters*, 162, 153-157.
- Commission Européenne, State of the Art of the Assessment of Endocrine Disruptors (2006). Project Contract Number 070307/2009/550687/SER/D3. Kortenkamp A., Martin O., Faust M., Evans R., McKinlay R., Orton F. *et al.*
- Committee on the Institutional Means for Assessment of Risks to Public Health, N.R.C. (1983). *National Research Council. Risk Assessment in the Federal Government : Managing the Process*. National Academy Press, Washington D.C.
- Cooper, J. & Dobson, H. (2007). The benefits of pesticides to mankind and the environment. *Crop Protection*, 26, 1337-1348.
- Cooper, R.L. & Kavlock, R.J. (1997). Endocrine disruptors and reproductive development: A weight-of-evidence overview. *Journal of Endocrinology*, 152, 159-166.
- Costa, L.G., Giordano, G., Guizzetti, M. & Vitalone, A. (2008). Neurotoxicity of pesticides: A brief review. *Frontiers in Bioscience*, 13, 1240-1249.
- Dalton, P. (1996). Odor perception and beliefs about risk. *Chemical Senses*, 21, 447-458.
- Dalton, P.H. & Jaén, C. (2010). Responses to odors in occupational environments. *Current Opinion in Allergy and Clinical Immunology*, 10, 127-132.
- Damalas, C.A. (2009). Understanding benefits and risks of pesticide use. *Scientific Research and Essays*, 4, 945-949.
- Damalas, C.A. & Eleftherohorinos, I.G. (2011). Pesticide exposure, safety issues, and risk assessment indicators. *International Journal of Environmental Research and Public Health*, 8, 1402-1419.

- Damalas, C.A., Georgiou, E.B. & Theodorou, M.G. (2006). Pesticide use and safety practices among Greek tobacco farmers: A survey. *International Journal of Environmental Health Research*, 16, 339-348.
- Damalas, C.A., Theodorou, M.G. & Georgiou, E.B. (2006). Attitudes towards pesticide labelling among Greek tobacco farmers. *International Journal of Pest Management*, 52, 269-274.
- DARES (2013). Les exposition aux produits chimiques cancérigènes en 2010. *Enquête Sumer 2010*, 54.
- Davik, R. & Slovic, P. (2003). Risk communication: a neglected tool in protecting public health. *Risk in perspective*, 11.
- De Almeida, R.A.C.D.S., Veiga, M.M., De Castro Moura Duarte, F.J., Meirelles, L.A. & Veiga, L.B.E. (2012). Thermal comfort and personal protective equipment (PPE). *Work*, 41, 4979-4982.
- De Vreede, J.A.F., Brouwer, D.H., Stevenson, H. & Van Hemmen, J.J. (1998). Exposure and risk estimation for pesticides in high-volume spraying. *Annals of Occupational Hygiene*, 42, 151-157.
- Debbarh, I., Rambelomanana, S., Penouil, F., Castaigne, F., Poisot, D. & Moore, N. (2002). Human neurotoxicity of ethylene-bis-dithiocarbamates (EBDC). *La neurotoxicité des éthylène-bis-dithiocarbamates (EBDC) chez l'homme*, 158, 1175-1180.
- DellaValle, C.T., Hoppin, J.A., Hines, C.J., Andreotti, G. & Alavanja, M.C. (2012). Risk-accepting personality and personal protective equipment use within the Agricultural Health Study. *Journal of Agromedicine*, 17, 264-276.
- Descatha, A., Jenabian, A., Conso, F. & Ameille, J. (2005). Occupational exposures and haematological malignancies: Overview on human recent data. *Cancer Causes and Control*, 16, 939-953.
- Di Monte, D.A., Lavasani, M. & Manning-Bog, A.B. (2002). Environmental factors in Parkinson's disease. *NeuroToxicology*, 23, 487-502.
- Diamanti-Kandarakis, E., Bourguignon, J.P., Giudice, L.C., Hauser, R., Prins, G.S., Soto, A.M. *et al.* (2009). Endocrine-disrupting chemicals: An Endocrine Society scientific statement. *Endocrine Reviews*, 30, 293-342.
- Diepgen, T.L. & Blome, O. (2008). UV-light induced skin cancer - A new occupational disease. Part 2: Medical and epidemiological knowledge for accepting these diseases into the the list of occupational diseases. *Dermatologie in Beruf und Umwelt* 56, 47-56.
- Domico, L.M., Cooper, K.R., Bernard, L.P. & Zeevalk, G.D. (2007). Reactive oxygen species generation by the ethylene-bis-dithiocarbamate (EBDC) fungicide mancozeb and its contribution to neuronal toxicity in mesencephalic cells. *NeuroToxicology*, 28, 1079-1091.
- Domico, L.M., Zeevalk, G.D., Bernard, L.P. & Cooper, K.R. (2006). Acute neurotoxic effects of mancozeb and maneb in mesencephalic neuronal cultures are associated with mitochondrial dysfunction. *NeuroToxicology*, 27, 816-825.
- Dosemeci, M., Alavanja, M.C.R., Rowland, A.S., Mage, D., Hoar Zahm, S., Rothman, N. *et al.* (2002). A quantitative approach for estimating exposure to pesticides in the agricultural health study. *Annals of Occupational Hygiene*, 46, 245-260.
- Dowling, K.C. & Seiber, J.N. (2002). Importance of respiratory exposure to pesticides among agricultural populations. *International Journal of Toxicology*, 21, 371-381.

- Drechsel, D.A. & Patel, M. (2008). Role of reactive oxygen species in the neurotoxicity of environmental agents implicated in Parkinson's disease. *Free Radical Biology and Medicine*, 44, 1873-1886.
- Dupupet, J.-L., Berson-Vigouroux, N., Jacquet-Libaude, F. & Cathala, M. (2012). Phyt'attitude : le réseau de toxicovigilance en agriculture. In: *La revue du praticien - Supplément*, p. 24.
- Durham, W.F. & Wolfe, H.R. (1962). Measurement of the exposure of workers to pesticides. *Bulletin of the World Health Organization*, 26, 75-91.
- EFSA (2009a). Peer review of the pesticide risk assessment of the active substance folpet. *European Food Safety Authority*, Question No EFSA-Q-2009-605, p.13 &14 - 80.
- EFSA (2009b). Peer review of the pesticide risk assessment of the active substance folpet. *European Food Safety Authority*, Question No EFSA-Q-2009-605.
- Elbaz, A., Clavel, J., Rathouz, P.J., Moisan, F., Galanaud, J.P., Delemotte, B. *et al.* (2009). Professional exposure to pesticides and Parkinson disease. *Annals of Neurology*, 66, 494-504.
- Emerit, J., Edeas, M. & Bricaire, F. (2004). Neurodegenerative diseases and oxidative stress. *Biomedicine and Pharmacotherapy*, 58, 39-46.
- Engler, R. (1986). *Peer Review of Captan, Caswell No: 159*.
- Esteban, M. & Castaño, A. (2009). Non-invasive matrices in human biomonitoring: A review. *Environment International*, 35, 438-449.
- EU (2006). Guidance for setting and application of Acceptable Operator Exposure Levels. *European Commission - 7 July 2006*
- EUROGIP (2010). Cancers d'origine professionnelle : quelle reconnaissance en Europe pp53.
- Fenske, R.A. (1990). Nonuniform dermal deposition patterns during occupational exposure to pesticides. *Archives of Environmental Contamination and Toxicology*, 19, 332-337.
- Fenske, R.A. (1993). Dermal exposure assessment techniques. *Annals of Occupational Hygiene*, 37, 687-706.
- Fenske, R.A. (2005). State-of-the-art measurement of agricultural pesticide exposures. *Scandinavian Journal of Work, Environment and Health*, 31, 67-73.
- Fenske, R.A. & Day, E.W. (2005). Assessment of exposure for pesticide handlers in agricultural, residential and institutional environments *Occupational and Residential Exposure Assessment For Pesticides*, pp. 13-43.
- Fenske, R.A., Schulte, C., Lu, C. & Allen, E.H. (1998). Incomplete removal of the pesticide captan from skin by standard handwash exposure assessment procedures. *Bulletin of Environmental Contamination and Toxicology*, 61, 194-201.
- Feola, G. & Binder, C.R. (2010). Why don't pesticide applicators protect themselves?: Exploring the use of personal protective equipment among Colombian smallholders. *International Journal of Occupational and Environmental Health*, 16, 11-23.
- Feron, V.J., Cassee, F.R. & Groten, J.P. (1998). Toxicology of chemical mixtures: International perspective. *Environmental Health Perspectives*, 106, 1281-1289.
- FMI (2013). World Economic Outlook Database. *Fond Monétaire International*.
- Freire, C. & Koifman, S. (2012). Pesticide exposure and Parkinson's disease: Epidemiological evidence of association. *NeuroToxicology*, 33, 947-971.
- Frewer, L. (2004). The public and effective risk communication. *Toxicology Letters*, 149, 391-397.

- Garcia-Jares, C., Regueiro, J., Barro, R., Dagnac, T. & Llompart, M. (2009). Analysis of industrial contaminants in indoor air. Part 2. Emergent contaminants and pesticides. *Journal of Chromatography A*, 1216, 567-597.
- Garrigou, A., Baldi, I., Le Frious, P., Anselm, R. & Vallier, M. (2011). Ergonomics contribution to chemical risks prevention: An ergotoxicological investigation of the effectiveness of coverall against plant pest risk in viticulture. *Applied Ergonomics*, 42, 321-330.
- Gatignol, C. & Etienne, J.-C. (2010). Rapport sur Pesticides et Santé. *Office parlementaire d'évaluation des choix scientifiques et technologiques.*, 195 pages.
- Geno, P.W., Camann, D.E., Harding, H.J., Villalobos, K. & Lewis, R.G. (1996). Handwipe sampling and analysis procedure for the measurement of dermal contact with pesticides. *Archives of Environmental Contamination and Toxicology*, 30, 132-138.
- Giannandrea, F., Settimi, L. & Talamanca, I.F. (2008). The use of personal protective equipment in pregnant greenhouse workers. *Occupational Medicine*, 58, 52-57.
- Gil, Y., Sinfort, C., Brunet, Y., Polveche, V. & Bonicelli, B. (2007). Atmospheric loss of pesticides above an artificial vineyard during air-assisted spraying. *Atmospheric Environment*, 41, 2945-2957.
- Gil, Y., Sinfort, C., Guillaume, S., Brunet, Y. & Palagos, B. (2008). Influence of micrometeorological factors on pesticide loss to the air during vine spraying: Data analysis with statistical and fuzzy inference models. *Biosystems Engineering*, 100, 184-197.
- Glass, C.R. & Machera, K. (2009). Evaluating the risks of occupational pesticide exposure. *Hellenic Plant Protection Journal*, 2, 1-9.
- Glover, W., Chan, H.-K., Eberl, S., Daviskas, E. & Verschuer, J. (2008). Effect of particle size of dry powder mannitol on the lung deposition in healthy volunteers. *International Journal of Pharmaceutics*, 349, 314-322.
- Goetz, A.K., Ren, H., Schmid, J.E., Blystone, C.R., Thillainadarajah, I., Best, D.S. *et al.* (2007). Disruption of testosterone homeostasis as a mode of action for the reproductive toxicity of triazole fungicides in the male rat. *Toxicological Sciences*, 95, 227-239.
- Goldman, S.M., Kamel, F., Ross, G.W., Bhudhikanok, G.S., Hoppin, J.A., Korell, M. *et al.* (2012). Genetic modification of the association of paraquat and Parkinson's disease. *Movement Disorders*.
- Gordon, E. (2007). Captan: Transition from 'B2' to 'not likely'. How pesticide registrants affected the EPA Cancer Classification Update. *Journal of Applied Toxicology*, 27, 519-526.
- Gordon, E.B., Ehrlich, T., Mobley, S. & Williams, M. (2001). Measurement of the reaction between the fungicides captan or folpet and blood thiols. *Toxicology Methods*, 11, 209-223.
- Graillot, V., Takakura, N., Hegarat, L.L., Fessard, V., Audebert, M. & Cravedi, J.P. (2012). Genotoxicity of pesticide mixtures present in the diet of the French population. *Environmental and Molecular Mutagenesis*, 53, 173-184.
- Hashemi, S.M., Hosseini, S.M. & Hashemi, M.K. (2012). Farmers' perceptions of safe use of pesticides: Determinants and training needs. *International Archives of Occupational and Environmental Health*, 85, 57-66.
- Hashemi, S.M., Rostami, R., Hashemi, M.K. & Damalas, C.A. (2012). Pesticide Use and Risk Perceptions among Farmers in Southwest Iran. *Human and Ecological Risk Assessment*, 18, 456-470.

- Hernández, A.F., Parrón, T., Tsatsakis, A.M., Requena, M., Alarcón, R. & López-Guarnido, O. (2012a). Toxic effects of pesticide mixtures at a molecular level: Their relevance to human health. *Toxicology*.
- Hernández, A.F., Parrón, T., Tsatsakis, A.M., Requena, M., Alarcón, R. & López-Guarnido, O. (2012b). Toxic effects of pesticide mixtures at a molecular level: Their relevance to human health. *Toxicology*.
- Heyder, J., Gebhart, J., Rudolf, G., Schiller, C.F. & Stahlhofen, W. (1986). Deposition of particles in the human respiratory tract in the size range 0.005–15 µm. *Journal of Aerosol Science*, 17, 811-825.
- Hill, C., Doyon, F. & Moussanif, A. (2009). Évolution de la mortalité par cancer en France de 1950 à 2006. *Institut de veille sanitaire 2009*, 272 p.
- Hill, C. & Laplanche, A. (2003). Tabagisme et mortalité : aspects épidémiologiques. *BEH n°22-23 (27 mai 2003)*.
- Hughes, E.A., Flores, A.P., Ramos, L.M., Zalts, A., Richard Glass, C. & Montserrat, J.M. (2008). Potential dermal exposure to deltamethrin and risk assessment for manual sprayers: Influence of crop type. *Science of the Total Environment*, 391, 34-40.
- IARC (2012). Diesel engine exhaust carcinogenic. *Press Release N° 213*.
- INC (2009). Risques de cancers et pesticides. *Institut Nationale du Cancer*, Fiche repère.
- INERIS (2004). Photosensibilisation, cancers cutanés et exposition professionnelle aux ultraviolets. *Documents pour la Medecine du Travail*, N°97 10p.
- INRA (2010). Synthèse du rapport Ecophyto R&D : quelles voies pour réduire l'usage des pesticides ? *Institut Nationale de Recherche Agronomique*, p. 90 pages.
- INRA & Cemagref. (2005). Expertise scientifique collective. Pesticides, agriculture et environnement : Réduire l'utilisation des pesticides et en limiter les impacts environnementaux. In: *INRA et Cemagref*.
- INSERM (2013). Pesticides, effets sur la santé. In: *Expertise collective, synthèse et recommandations*. Institut Nationale de Santé et de Recherche Médicale Paris, p. 147.
- INVS (2006). Analyse de la mortalité et des causes de décès par secteur d'activité de 1968 à 1999 à partir de l'Echantillon démographique permanent. In: *Etude pour la mise en place du programme Cosmop : Cohorte pour la surveillance de la mortalité par profession*, p. 162p.
- InVS (2011). Synthèse des bases de données toxicologiques consultées. In: *Furetox*. InVS.
- IRSN (2003). Experts et grand public : quelles perceptions face au risque ? *Rapport final du contrat de recherche intitulé "Perplex : Etude comparative de la perception des risques par le public et par les experts" du programme "Environnement et Santé de l'AFSSET*, Rapport IRSN/DSDRE/DOS n°10.
- IRSN (2012). Baromètre IRSN sur la perception des risques et de la sécurité par les Français. 188p. *Institut de Radioprotection et de sûreté nucléaire*, ISSN : 12116 - 9179.
- Jakubowski, M. (2012). Biological monitoring versus air monitoring strategies in assessing environmental-occupational exposure. *Journal of Environmental Monitoring*, 14, 348-352.
- Jensen, G.B., Larsen, P., Jacobsen, B.L., Madsen, B., Smidt, L. & Andrup, L. (2002a). *Bacillus thuringiensis* in fecal samples from greenhouse workers after exposure to *B. thuringiensis*-based pesticides. *Applied and Environmental Microbiology*, 68, 4900-4905.

- Jensen, G.B., Larsen, P., Jacobsen, B.L., Madsen, B., Wilcks, A., Smidt, L. *et al.* (2002b). Isolation and characterization of *Bacillus cereus*-like bacteria from faecal samples from greenhouse workers who are using *Bacillus thuringiensis*-based insecticides. *International Archives of Occupational and Environmental Health*, 75, 191-196.
- Kalberlah, F., Schneider, K. & Schuhmacher-Wolz, U. (2003). Uncertainty in toxicological risk assessment for non-carcinogenic health effects. *Regulatory Toxicology and Pharmacology*, 37, 92-104.
- Kannan, K. & Jain, S.K. (2000). Oxidative stress and apoptosis. *Pathophysiology*, 7, 153-163.
- Karabelas, A.J., Plakas, K.V., Solomou, E.S., Drossou, V. & Sarigiannis, D.A. (2009). Impact of European legislation on marketed pesticides - A view from the standpoint of health impact assessment studies. *Environment International*, 35, 1096-1107.
- Karunanayake, C.P., Spinelli, J.J., McLaughlin, J.R., Dosman, J.A., Pahwa, P. & McDuffie, H.H. (2012). Hodgkin Lymphoma and Pesticides Exposure in Men: A Canadian Case-Control Study. *Journal of Agromedicine*, 17, 30-39.
- Kiebertz, K. & Wunderle, K.B. (2013). Parkinson's disease: Evidence for environmental risk factors. *Movement Disorders*, 28, 8-13.
- Kisby, G.E., Muniz, J.F., Scherer, J., Lasarev, M.R., Koshy, M., Kow, Y.W. *et al.* (2009). Oxidative stress and DNA damage in agricultural workers. *Journal of Agromedicine*, 14, 206-214.
- Koh, D. & Jeyaratnam, J. (1996). Pesticides hazards in developing countries. *Science of the Total Environment*, 188, S78-S85.
- Krieger, R.I. (1995). Pesticide exposure assessment. *Toxicology Letters*, 82-83, 65-72.
- Kristof, N.D. (2005). 'I Have a Nightmare'. In: *The New York Time* New York.
- Kumar, R., Pant, N. & Srivastava, S.P. (2000). Chlorinated pesticides and heavy metals in human semen. *International Journal of Andrology*, 23, 145-149.
- Lambert, M., Richardson, J. & Grimbuhler, S. (2010). Relation entre l'exposition aux produits phytosanitaires et les objectifs des opérateurs : cas des serristes français. *46ème Congrès International de la Société d'Ergonomie de Langue Française* Ergonomie à la croisée des risques, Paris (France).
- Le Borgne, C. (2010). Etude de la cohérence entre les modèles d'autorisation de mise sur le marché des produits phytopharmaceutiques et les pratiques agricole de la France métropolitaine de 2010 : vers une caractérisation pertinente de l'exposition de l'opérateur. In: *Cemagref - EHESP*, p. 70p.
- Lebailly, P., Bouchart, V., Baldi, I., Lecluse, Y., Heutte, N., Gislard, A. *et al.* (2009). Exposure to pesticides in open-field farming in France. *Annals of Occupational Hygiene*, 53, 69-81.
- Lebailly, P., Vigreux, C., Lechevrel, C., Ledemeney, D., Godard, T., Sichel, F. *et al.* (1998). DNA damage in mononuclear leukocytes of farmers measured using the alkaline comet assay: Modifications of DNA damage levels after a one-day field spraying period with selected pesticides. *Cancer Epidemiology Biomarkers and Prevention*, 7, 929-940.
- Lichtenberg, E. & Zimmerman, R. (1999). Adverse health experiences, environmental attitudes, and pesticide usage behavior of farm operators. *Risk Analysis*, 19, 283-294.
- Liebl, B., Schettgen, T., Kerscher, G., Broding, H.C., Otto, A., Angerer, J. *et al.* (2004). Evidence for increased internal exposure to lower chlorinated polychlorinated biphenyls (PCB) in pupils attending a contaminated school. *International Journal of Hygiene and Environmental Health*, 207, 315-324.

- Litchfield, M.H. (2005). Estimates of acute pesticide poisoning in agricultural workers in less developed countries. *Toxicological Reviews*, 24, 271-278.
- Liu, Y., Fiskum, G. & Schubert, D. (2002). Generation of reactive oxygen species by the mitochondrial electron transport chain. *Journal of Neurochemistry*, 80, 780-787.
- Lunchick, C., Honeycutt, R. & Klonne, D. (2005). Biological monitoring use in refining the exposure assessment of agricultural operators. *Scandinavian Journal of Work, Environment and Health*, 31, 82-89.
- Lupescu, A., Jilani, K., Zbidah, M. & Lang, F. (2012). Induction of apoptotic erythrocyte death by rotenone. *Toxicology*, 300, 132-137.
- Lyons, G. & Watterson, A. (2010). A review of the role pesticides play in some cancers: children, farmers and pesticides users at risk ? In: *CHEMTrust report* (ed. report, C). Chemicals, Health and Environment Monitoring London.
- Machado-Neto, J.G. (2001). Determination of safe work time and exposure control need for pesticide applicators. *Bulletin of Environmental Contamination and Toxicology*, 67, 20-26.
- Mäkinen, M. (2003). Dermal Exposure Assessment of Chemicals – an Essential Part of Total Exposure Assessment at Workplaces. In: *Department of Environmental Sciences* University of Kuopio Kuopio, p. 88p.
- Mann, R.M. & Bidwell, J.R. (1999). The toxicity of glyphosate and several glyphosate formulations to four species of southwestern australian frogs. *Archives of Environmental Contamination and Toxicology*, 36, 193-199.
- Marquart, J., Brouwer, D.H., Gijsbers, J.H.J., Links, I.H.M., Warren, N. & Van Hemmen, J.J. (2003). Determinants of Dermal Exposure Relevant for Exposure Modelling in Regulatory Risk Assessment. *Annals of Occupational Hygiene*, 47, 599-607.
- McDuffie, H.H., Pahwa, P., McLaughlin, J.R., Spinelli, J.J., Fincham, S., Dosman, J.A. et al. (2001). Non-Hodgkin's lymphoma and specific pesticide exposures in men: Cross-Canada study of pesticides and health. *Cancer Epidemiology Biomarkers and Prevention*, 10, 1155-1163.
- Migliore, L. & Coppedè, F. (2009). Environmental-induced oxidative stress in neurodegenerative disorders and aging. *Mutation Research - Genetic Toxicology and Environmental Mutagenesis*, 674, 73-84.
- Milesion, B.E., Chambers, J.E., Chen, W.L., Dettbarn, W., Ehrich, M., Eldefrawi, A.T. et al. (1998). Common mechanism of toxicity: A case study of organophosphorus pesticides. *Toxicological Sciences*, 41, 8-20.
- Ministère chargé de l'Alimentation de l'Agriculture et de la Pêche (2008). Ecophyto 2018. 10 septembre 2008. Paris.
- Mink, P.J., Mandel, J.S., Scurman, B.K. & Lundin, J.I. (2012). Epidemiologic studies of glyphosate and cancer: A review. *Regulatory Toxicology and Pharmacology*, 63, 440-452.
- Moriceau, C. (2009). Les perceptions des risques au travail dans la seconde moitié du xix^e siècle : Entre connaissance, déni et prévention. *Revue d'histoire moderne et contemporaine*, 56, 11-27.
- Moser, V.C., Padilla, S., Simmons, J.E., Haber, L.T. & Hertzberg, R.C. (2012). Impact of chemical proportions on the acute neurotoxicity of a mixture of seven carbamates in preweanling and adult rats. *Toxicological Sciences*, 129, 126-134.

- Mostafalou, S. & Abdollahi, M. (2013). Pesticides and human chronic diseases: Evidences, mechanisms, and perspectives. *Toxicology and Applied Pharmacology*, 268, 157-177.
- MSA (2010). Phytosanitaires et pratiques agricoles : Phyt'attitude au coeur de la prévention. Brochure 15p. Mutualité Sociale Agricole.
- MSA (2011). Enquête Agrican - Premiers Résultats. . In: *Mutualité Santé Agricole*. Mutualité Santé Agricole Mutualité Santé Agricole, p. 20p.
- Multigner, L., Ndong, J.-R., Giusti, A., Romana, M., Delacroix-Maillard, H., Cordier, S. *et al.* (2010).Chlordecone Exposure and Risk of Prostate cancer. *Journal Of Oncology*, 10.1200/JCO.2009.27.2153
- Mumtaz, M.M., Ruiz, P. & De Rosa, C.T. (2007). Toxicity assessment of unintentional exposure to multiple chemicals. *Toxicology and Applied Pharmacology*, 223, 104-113.
- Muniz, J.F., McCauley, L., Scherer, J., Lasarev, M., Koshy, M., Kow, Y.W. *et al.* (2008). Biomarkers of oxidative stress and DNA damage in agricultural workers: A pilot study. *Toxicology and Applied Pharmacology*, 227, 97-107.
- Nambiar, N.J. (2012). Managment of paracetamol poisoning: The old and the new. *Journal of Clinical and Diagnostic Research*, 6, 1101-1104.
- Navidi, W.C. & Bunge, A.L. (2002). Uncertainty in measurements of dermal absorption of pesticides. *Risk Analysis*, 22, 1175-1182.
- Needham, L.L., Calafat, A.M. & Barr, D.B. (2007). Uses and issues of biomonitoring. *International Journal of Hygiene and Environmental Health*, 210, 229-238.
- Ngo, M.A., O'Malley, M. & Maibach, H.I. (2010). Percutaneous absorption and exposure assessment of pesticides. *Journal of Applied Toxicology*, 30, 91-114.
- Nicourt, C. & Girault, J.-M. (2009). Le coût humain des pesticides : comment les viticulteurs et les techniciens viticoles français font face au risque. Available at: <http://vertigo.revues.org/9197> Last accessed Juillet 2013.
- Nicourt, C. & Girault, J.-M. (2011).La normalisation du travail viticole à l'épreuve de la réduction de l'usage des pesticides. *Économie rurale*, 321, 29-41.
- Noyce, A.J., Bestwick, J.P., Silveira-Moriyama, L., Hawkes, C.H., Giovannoni, G., Lees, A.J. *et al.* (2012).Meta-analysis of early nonmotor features and risk factors for Parkinson disease. *Annals of Neurology*.
- Nussbaum, R.L. & Ellis, C.E. (2003). Alzheimer's disease and Parkinson's disease. *New England Journal of Medicine*, 348, 1356-1364.
- Nuyttens, D., Braekman, P., Windey, S. & Sonck, B. (2009). Potential dermal pesticide exposure affected by greenhouse spray application technique. *Pest Management Science*, 65, 781-790.
- Nuyttens, D., Windey, S. & Sonck, B. (2004). Comparison of operator exposure for five different greenhouse spraying applications. *Journal of Agricultural Safety and Health*, 10, 187-195.
- OCDE (1997). Guidance document for the conduct of occupational exposure to pesticides during agricultural application. *OECD Environmental and safety publications. Series on testing and assessment no. 9 OECD/GD*.
- Oerke, E.C. (2006). Crop losses to pests. *Journal of Agricultural Science*, 144, 31-43.
- Omnès, C. (2009). De la perception du risque professionnel aux pratiques de prévention : la construction d'un risque acceptable. *Revue d'histoire moderne et contemporaine*, 56, 61-82.

- Pant, N., Kumar, R., Mathur, N., Srivastava, S.P., Saxena, D.K. & Gujrati, V.R. (2007). Chlorinated pesticide concentration in semen of fertile and infertile men and correlation with sperm quality. *Environmental Toxicology and Pharmacology*, 23, 135-139.
- Paustenbach, D. & Gaffney, S. (2006). The role of odor and irritation, as well as risk perception, in the setting of occupational exposure limits. *International Archives of Occupational and Environmental Health*, 79, 339-342.
- Perry, M.J., Venners, S.A., Barr, D.B. & Xu, X. (2007). Environmental pyrethroid and organophosphorus insecticide exposures and sperm concentration. *Reproductive Toxicology*, 23, 113-118.
- Purdue, M.P., Hoppin, J.A., Blair, A., Dosemeci, M. & Alavanja, M.C.R. (2007). Occupational exposure to organochlorine insecticides and cancer incidence in the Agricultural Health Study. *International Journal of Cancer*, 120, 642-649.
- Quest, J.A., Fenner-Crisp, P.A., Burnam, W., Copley, M., Dearfield, K.L., Hamernik, K.L. *et al.* (1993). Evaluation of the carcinogenic potential of pesticides. 4. Chloralkylthiodicarboximide compounds with fungicidal activity. *Regulatory Toxicology and Pharmacology*, 17, 19-34.
- Ramwell, C.T., Johnson, P.D., Boxall, A.B.A. & Rimmer, D.A. (2005). Pesticide residues on the external surfaces of field crop sprayers: Occupational exposure. *Annals of Occupational Hygiene*, 49, 345-350.
- Reed, D.B., Browning, S.R., Westneat, S.C. & Kidd, P.S. (2006). Personal protective equipment use and safety behaviors among farm adolescents: Gender differences and predictors of work practices. *Journal of Rural Health*, 22, 314-320.
- Reffstrup, T.K., Larsen, J.C. & Meyer, O. Risk assessment of mixtures of pesticides. Current approaches and future strategies. *Regulatory Toxicology and Pharmacology*.
- Ribeiro, M.G., Colasso, C.G., Monteiro, P.P., Filho, W.R.P. & Yonamine, M. (2012). Occupational safety and health practices among flower greenhouses workers from Alto Tietê region (Brazil). *Science of the Total Environment*, 416, 121-126.
- Ríos-González, A., Jansen, K. & Javier Sánchez-Pérez, H. (2013). Pesticide risk perceptions and the differences between farmers and extensionists: Towards a knowledge-in-context model. *Environmental Research*, 124, 43-53.
- Rubino, F.M., Mandic-Rajcevic, S., Ariano, E., Alegakis, A., Bogni, M., Brambilla, G. *et al.* (2012). Farmers' exposure to herbicides in North Italy: Assessment under real-life conditions in small-size rice and corn farms. *Toxicology Letters*, 210, 189-197.
- Rudel, R.A., Camann, D.E., Spengler, J.D., Korn, L.R. & Brody, J.G. (2003). Phthalates, alkylphenols, pesticides, polybrominated diphenyl ethers, and other endocrine-disrupting compounds in indoor air and dust. *Environmental Science and Technology*, 37, 4543-4553.
- Sanderson, W.T., Ringenburt, V. & Biagini, R. (1995). Exposure of commercial pesticide applicators to the herbicide alachlor. *American Industrial Hygiene Association Journal*, 56, 890-897.
- Sandman, P.M. (1993). *Responding to community outrage : strategies for effective risk communication*. 2003 edn. American Industrial Hygiene Association, Fairfax, VA. ISBN 978-0-932627-51-X.

- Sarigiannis, D.A. & Hansen, U. (2012). Considering the cumulative risk of mixtures of chemicals - A challenge for policy makers. *Environmental Health: A Global Access Science Source*, 11.
- Schramm, K.W. (2008). Hair-biomonitoring of organic pollutants. *Chemosphere*, 72, 1103-1111.
- Schwöpe, A.D., Goydan, R., Ehntholt, D., Frank, U. & Nielsen, A. (1992). Permeation resistance of glove materials to agricultural pesticides. *American Industrial Hygiene Association Journal*, 53, 352-361.
- Séralini, G.-E., Clair, E., Mesnage, R., Gress, S., Defarge, N., Malatesta, M. *et al.* Long term toxicity of a Roundup herbicide and a Roundup-tolerant genetically modified maize. *Food and Chemical Toxicology*.
- Setbon, M. & Raude, J. (2008). Perceptions and preventive behavior against dengue fever in Martinique. *Perceptions et comportements de prévention face à la dengue en Martinique*, 38, S78-S81.
- Sexton, K. (2012). Cumulative risk assessment: An overview of methodological approaches for evaluating combined health effects from exposure to multiple environmental stressors. *International Journal of Environmental Research and Public Health*, 9, 370-390.
- Shah, P.V., Fisher, H.L. & Sumler, M.R. (1987). Comparison of the penetration of 14 pesticides was studied through the skin of young and adult rats. *Journal of Toxicology and Environmental Health*, 21, 353-366.
- Sjöberg, L. (2000). Factors in risk perception. *Risk Analysis*, 20, 1-11.
- Sjöberg, L., Moen, B.-E. & Rundmo, T. (2004). Explaining risk perception. An evaluation of the psychometric paradigm in risk perception research. *Rotunde publikasjoner Rotunde*, 1.
- Slovic, P. (1987). Perception of risk. *Science*, 236, 280-285.
- Slovic, P. (2006). Risk as analysis and risk as feelings: Commentary on the dance of affect and reason. *Birth Defects Res. Part A-Clin. Mol. Teratol.*, 76, S14.
- Slovic, P., Finucane, M.L., Peters, E. & MacGregor, D.G. (2007). The affect heuristic. *European Journal of Operational Research*, 177, 1333-1352.
- Slovic, P. & Peters, E. (2006). Risk perception and affect. *Current Directions in Psychological Science*, 15, 322-325.
- Snell, C., Bernheim, A., Bergé, J.-B., Kuntz, M., Pascal, G., Paris, A. *et al.* (2012). Assessment of the health impact of GM plant diets in long-term and multigenerational animal feeding trials: A literature review. *Food and Chemical Toxicology*, 50, 1134-1148.
- Soutar, A., Semple, S., Aitken, R.J. & Robertson, A. (2000). Use of patches and whole body sampling for the assessment of dermal exposure. *Annals of Occupational Hygiene*, 44, 511-518.
- Svenson, O. (1981). Are we all less risky and more skillful than our fellow drivers? *Acta Psychologica*, 47, 143-148.
- Synamap (2002). Témoignage d'une coopérative agricole. *Reference*, 15.
- Tanner, C.M., Ross, G.W., Jewell, S.A., Hauser, R.A., Jankovic, J., Factor, S.A. *et al.* (2009). Occupation and risk of parkinsonism: A multicenter case-control study. *Archives of Neurology*, 66, 1106-1113.

- Taxvig, C., Hass, U., Axelstad, M., Dalgaard, M., Boberg, J., Andeasen, H.R. *et al.* (2007). Endocrine-disrupting activities In Vivo of the fungicides tebuconazole and epoxiconazole. *Toxicological Sciences*, 100, 464-473.
- Taxvig, C., Vinggaard, A.M., Hass, U., Axelstad, M., Metzдорff, S. & Nellemann, C. (2008). Endocrine-disrupting properties in vivo of widely used azole fungicides. *International Journal of Andrology*, 31, 170-176.
- Teixeira, M.J., Aguiar, A., Afonso, C.M.M., Alves, A. & Bastos, M.M.S.M. (2004). Comparison of pesticides levels in grape skin and in the whole grape by a new liquid chromatographic multiresidue methodology. *Analytica Chimica Acta*, 513, 333-340.
- Testud F., G.J.P. (2007). Techniques d'emploi des produits phytosanitaires. In: *Produits Phytosanitaires : Intoxications aiguës et Risques professionnels* (ed. ESKA) Paris.
- Thierauf, A., Weinmann, W., Auwärter, V., Vennemann, B. & Bohnert, M. (2010). A survey of warning colours of pesticides. *Forensic Science, Medicine, and Pathology*, 6, 307-313.
- Trinh, T. (2013). Réduction de l'exposition des agriculteurs aux produits phytopharmaceutiques : efficacité des équipements de protection individuelle. *IRSTEA. Mémoire de fin d'étude : Master 2 "santé publique et risques environnementaux"*, 1.
- Tulve, N.S., Egeghy, P.P., Fortmann, R.C., Xue, J., Evans, J., Whitaker, D.A. *et al.* (2011). Methodologies for estimating cumulative human exposures to current-use pyrethroid pesticides. *Journal of Exposure Science and Environmental Epidemiology*, 21, 317-327.
- Tuomainen, A., Mäkinen, M., Glass, R. & Kangas, J. (2002). Potential exposure to pesticides in Nordic greenhouses. *Bulletin of Environmental Contamination and Toxicology*, 69, 342-349.
- UIPP (2010). Chiffres clés : Repères monde et Europe. Union de Protection des Plantes.
- UIPP (2013). Chiffres clés : Repères monde et Europe. Available at: <http://www.uipp.org/Chiffres-cles/Reperes-monde-et-Europe> Last accessed Juillet 2013.
- URCAM & DRASS (2003). Perception des risques sanitaires encourus par les utilisateurs de pesticides. Rapport de l'enquête d'opinion réalisée auprès de 3 catégories d'utilisateurs : agriculteurs, grand public, et agents des collectivités territoriales. Union nationale des caisses d'assurance maladie, Direction régionale des Affaires sanitaires et sociales, p. 175p.
- US-EPA (1987). Pesticide assessment guidelines: subdivision U, applicator exposure monitoring. *U.S. Environmental Protection Agency, Office of Pesticide and Toxic Substances*, EPA/540/9-87/127.
- US-EPA (1988). Risk Assessment Guidelines of 1988. *EPA/600/8-87/045*.
- US-EPA (1992). Guidelines for Exposure Assessment. *Published on May 29, 1992, Federal Register 57 (104) :22888-22938*.
- US-EPA (1993a). Folpet (CASRN 133-07-3) IRIS Summary. Available at: <http://www.epa.gov/iris/subst/0242.htm>. Last accessed Juillet 2013.
- US-EPA (1993b). Reference Dose (RfD) : Description and Use in Health Risk Assessments. *Background Document 1A*.
- US-EPA (1995). The Use of the Benchmark Dose Approach in Health Risk Assessment. *EPA/630/R-94/007*.

- US-EPA (1999). Registration Eligibility Decision (RED) - Folpet. In: *Washington D.C.: US Environmental Protection Agency ; 1999. Report No.: EPA 738-R-99-011.*
- US-EPA (2005a). Guidelines for Carcinogen Risk Assessment. *March 2005 EPA/630/P-03/001F.*
- US-EPA (2005b). Guidelines for carcinogenic risk assessment *Risk Assessment Forum U.S. Environmental Protection Agency Washington, DC, March 2005, EPA/630/P-03/001F.*
- US-EPA (2007). Assessing Health Risks from Pesticides. *735-F-99-002.*
- Valko, M., Leibfritz, D., Moncol, J., Cronin, M.T.D., Mazur, M. & Telser, J. (2007). Free radicals and antioxidants in normal physiological functions and human disease. *International Journal of Biochemistry and Cell Biology*, 39, 44-84.
- Van Maele-Fabry, G., Hoet, P., Vilain, F. & Lison, D. (2012). Occupational exposure to pesticides and Parkinson's disease: A systematic review and meta-analysis of cohort studies. *Environment International*, 46, 30-43.
- Vermeulen, R., Stewart, P. & Kromhout, H. (2002). Dermal exposure assessment in occupational epidemiologic research. *Scand. J. Work Environ. Health*, 28, 371-385.
- Verrett, M.J., Mutchler, M.K., Scott, W.F., Reynaldo, E.F. & McLaughlin, J. (1969). Teratogenic effects of captan and related compounds in the developing chicken embryo. *Annals of the New York Academy of Sciences*, 160, 334-343.
- Viala, A. & Botta, A. (2005). *Toxicologie*. Lavoisier (Tec & Doc. EMI). 2ème édition, Paris.
- Vitali, M., Protano, C., Del Monte, A., Ensabella, F. & Guidotti, M. (2009). Operative modalities and exposure to pesticides during open field treatments among a group of agricultural subcontractors. *Archives of Environmental Contamination and Toxicology*, 57, 193-202.
- Viviana Waichman, A., Eve, E. & Celso da Silva Nina, N. (2007). Do farmers understand the information displayed on pesticide product labels? A key question to reduce pesticides exposure and risk of poisoning in the Brazilian Amazon. *Crop Protection*, 26, 576-583.
- Waggoner, J.K., Kullman, G.J., Henneberger, P.K., Umbach, D.M., Blair, A., Alavanja, M.C.R. *et al.* (2011). Mortality in the agricultural health study, 1993-2007. *American Journal of Epidemiology*, 173, 71-83.
- Weichenthal, S., Moase, C. & Chan, P. (2010). A review of pesticide exposure and cancer incidence in the agricultural health study cohort. *Environmental Health Perspectives*, 118, 1117-1125.
- Whitmore, R.W., Immerman, F.W., Camann, D.E., Bond, A.E., Lewis, R.G. & Schaum, J.L. (1994). Non-occupational exposures to pesticides for residents of two U.S. cities. *Archives of Environmental Contamination and Toxicology*, 26, 47-59.
- WHO (1986). Field surveys of exposure to pesticides: Standard protocol. Pesticide Development and Safe Use Unit. Division of Vector Biology and Control, WHO Headquarters, Geneva. *Toxicology Letters.*, 33, 223-235.
- WHO (2006). IARC Monographs on the Evaluation of Carcinogenic Risks to Humans : Preamble. *Lyon, France.*
- WHO (2010). The WHO recommended classification of pesticides by hazard and guidelines to classification 2009. . *IPCS.*
- WHO (2012). Volume 105 – Diesel and gasoline engine exhausts and some nitroarenes. *IARC Monographs.*

- Wilson, C. & Tisdell, C. (2001). Why farmers continue to use pesticides despite environmental, health and sustainability costs. *Ecological Economics*, 39, 449-462.
- Yamada, O., Bouneb, F., Chavane, L., Chion, B., Dupupet, J.-L., Fournier, J. *et al.* (2009). Les bases de données de propriétés des pesticides. *Mieux connaître les usages des pesticides pour mieux comprendre les expositions. Afsset, 11-12 Mars 2009.*
- Younglai, E.V., Foster, W.G., Hughes, E.G., Trim, K. & Jarrell, J.F. (2002). Levels of environmental contaminants in human follicular fluid, serum, and seminal plasma of couples undergoing in vitro fertilization. *Archives of Environmental Contamination and Toxicology*, 43, 121-126.
- Zainal, H. & Que Hee, S.S. (2003). Folpet permeation through nitrile gloves. *Applied Occupational and Environmental Hygiene*, 18, 658-668.
- Zang, X., Wang, J., Wang, O., Wang, M., Ma, J., Xi, G. *et al.* (2008). Analysis of captan, folpet, and captafol in apples by dispersive liquid-liquid microextraction combined with gas chromatography. *Analytical and Bioanalytical Chemistry*, 392, 749-754.
- Zhang, J., Fitsanakis, V.A., Gu, G., Jing, D., Ao, M., Amarnath, V. *et al.* (2003). Manganese ethylene-bis-dithiocarbamate and selective dopaminergic neurodegeneration in rat: A link through mitochondrial dysfunction. *Journal of Neurochemistry*, 84, 336-346.
- Zheng, T., Blair, A., Zhang, Y., Weisenburger, D.D. & Zahm, S.H. (2002). Occupation and risk of non-Hodgkin's lymphoma and chronic lymphocytic leukemia. *Journal of Occupational and Environmental Medicine*, 44, 469-474.

Annexes

ANNEXE I : EXPLOITATIONS AGRICOLES ET SUPERFICIE AGRICOLE UTILISEE DANS L'UNION EUROPEENNE EN 2010

Exploitations et superficie agricole utilisée dans l'Union européenne en 2010

	2010			
	Nombre d'exploitations		Superficie agricole utilisée (SAU)	
	(en milliers)	(en % du total de l'UE27)	(en milliers d'hectares)	(en % du total de l'UE27)
Allemagne	299	2,5	16 704	9,8
Autriche	154	1,3	2 997	1,8
Belgique	43	0,4	1 358	0,8
Bulgarie	371	3,1	3 621	2,1
Chypre	39	0,3	118	0,1
Danemark	41	0,3	2 648	1,6
Espagne (1)	990	8,2	23 753	14,0
Estonie	20	0,2	939	0,6
Finlande	64	0,5	2 292	1,3
France	515	4,3	27 090	15,9
Grèce (1)	706	5,9	4 076	2,4
Hongrie	577	4,8	4 611	2,7
Irlande (1)	128	1,1	4 139	2,4
Italie	1 630	13,5	12 885	7,6
Lettonie	83	0,7	1 786	1,1
Lituanie	200	1,7	2 743	1,6
Luxembourg	2	0,0	131	0,1
Malte	13	0,1	12	0,0
Pays-Bas	72	0,6	1 873	1,1
Pologne	1 506	12,5	14 384	8,5
Portugal (1)	305	2,5	3 668	2,2
République tchèque	23	0,2	3 484	2,0
Roumanie	3 856	32,0	13 298	7,8
Royaume-Uni	202	1,7	15 918	9,4
Slovaquie (1)	69	0,6	1 937	1,1
Slovénie	75	0,6	477	0,3
Suède	71	0,6	3 085	1,8
Union européenne à 27	12 054	100,0	170 027	100,0

(1) : données 2007 au lieu de 2010 pour les 2 indicateurs de l'Irlande et de la Slovaquie et données 2007 au lieu de 2010 pour la SAU de la Grèce. Données 2009 pour l'Espagne et le Portugal.

Source du tableau : INSEE 2010. Exploitations agricoles et superficie agricole utilisée dans l'Union européenne en 2010. Données en ligne disponible sur http://www.insee.fr/fr/themes/tableau.asp?ref_id=CMPTEF10204, consulté en Juillet 2013.

<p style="text-align: center;">ANNEXE II : QUESTIONNAIRE D'ENQUETE SUR L'USAGE DES PRODUITS PHYTOPHARMACEUTIQUES PAR LES VITICULTEURS</p>
--

1/ Quelle est la date du jour ? :

2/ Quel est le type de culture principale dans l'exploitation ? :

Viticulture

Autre : _____

3/ Quelle taille fait votre exploitation ?

4/ Combien d'années d'expérience en agriculture avez-vous ? _____ années

Installé en : _____ Age : _____

5/ Quel est votre statut au sein de l'exploitation ?

- Chef d'exploitation
- Salarié
- Bénévole
- Autre : _____

6/ Combien de personnes travaillent dans votre exploitation

_____ Personnes à temps plein. _____ Temporaires

7/ Quel est votre sexe ?

- Masculin
- Féminin

8/ Etes-vous fumeur ?

- Oui
- Non
- Ancien

9/ Avez-vous reçu une formation concernant l'utilisation des produits phytopharmaceutiques ?

- Oui, le Certiphyto
- Oui, une autre formation, veuillez préciser :
- Aucune formation et je n'en n'ai pas l'intention
- Aucune formation, mais c'est en projet

10/ Pour quelle (s) raison (s) avez-vous suivi cette formation ?

- Par intérêt personnel
- Sur demande de mon entourage
- Sur demande de ma coopérative ou par obligation

11/ Si oui, quand était-ce ?

- Cette année
- L'année dernière
- Il y a 2 ans
- Il y a plus de 2 ans
- Tous les ans

12/ Durant cette formation, quelle est le sujet qui a le plus retenu votre attention :

- La réglementation sur l'usage des produits phytopharmaceutiques
- S'informer sur l'usage des équipements de protection
- Se tenir à jour sur la réglementation des produits phytopharmaceutiques
- Mieux connaître la toxicité des produits phytopharmaceutiques pour l'utilisateur
- Mieux connaître l'impact des produits phytopharmaceutiques sur l'environnement
- Rien de particulier
- Autre, merci de préciser :

13/ Pensez-vous que cette formation vous ait permis de mieux utiliser les produits phytopharmaceutiques ?

- Oui
- Non

14/ Quel type de matériel de traitement avez-vous ?

Type : _____

Marque : _____

Age : _____

15/ Tous types de produits phytopharmaceutiques confondus, quelle est la forme que vous préférez utiliser ?

- Granulés
- Poudres
- Sachet hydrosolubles
- Liquides
- Cela n'a pas d'importance

16/ Quelle est la raison principale pour laquelle vous préférez-vous cette forme ?

- C'est la plus pratique
- Par habitude
- C'est la plus efficace
- Je n'ai pas le choix
- On s'expose moins aux produits
- C'est la moins chère

17/ Quels sont vos critères prioritaires lorsque vous achetez des produits phytopharmaceutiques ?

Numérotez de 1 (le plus important) à 8 (le moins important).

L'efficacité	
Le prix	
La forme (poudre, granulés, etc.)	
Sa toxicité pour l'homme	
Sa toxicité pour l'environnement	
Sa facilité d'utilisation	
La disponibilité des produits chez le fournisseur	
On me l'a conseillé	

18/ En moyenne, combien de traitements effectuez-vous chaque année sur vos vignes ? :

Nombre exacte

Herbicides
Insecticides
Fongicides

19/ En moyenne, combien de temps (en heures) dure un traitement ?

_____Heures

20/ Vous arrive-t-il de mélanger les produits phytopharmaceutiques entre eux ?

- Oui tous
- Non

21/ Selon vous, qu'est-ce qui est le plus dangereux pour votre santé, dans les produits phytopharmaceutiques ? **Un seul choix possible**

- Les produits en eux-mêmes
- La façon dont on s'en sert
- Ce que l'on rajoute aux produits phytopharmaceutiques (les solvants)
- Ne sait pas

22/ Parmi les différentes classes de produits phytopharmaceutiques, laquelle vous paraît la plus dangereuse pour votre santé ?

Classez de 1 (le plus dangereux) à 3 le moins dangereux.

Insecticides	
Fongicides	
Herbicides	

Toutes identiques

23/ Pourriez-vous citer le nom d'un ou de plusieurs produits phytopharmaceutiques que vous n'aimez pas utiliser parce qu'ils vous paraissent dangereux.

24/ Selon vous à quelle étape du traitement vous exposez-vous le plus ?

- Un choix possible
- Préparation de la bouillie
- Pulvérisation
- Nettoyage et entretien du matériel
- A peu près toutes pareilles
- Ne sait pas

25/ Selon vous, par quelle voie pénètrent majoritairement les produits phytopharmaceutiques dans votre organisme ?

•	1/ Préparation de la bouillie	2/ Pulvérisation	3/ Nettoyage et entretien du matériel
Voie respiratoire			
Voir orale			
Voie dermique			
Ne sait pas			

26/ Pensez-vous qu'un pesticide ayant une forte odeur est plus dangereux qu'un pesticide inodore ?

- Oui
- Non
- C'est pareil
- Ne sait pas

27/ Pensez-vous qu'un pesticide coloré est plus dangereux qu'un pesticide incolore ?

- Oui
- Non
- C'est pareil
- Ne sait pas

- 28/ Certains produits phytopharmaceutiques sont colorés volontairement par les fabricants :
 - Utile pour voir si l'on travaille proprement
 - Utile pour voir ce qui a été traité (traitement de semence par exemple)
 - Utile pour notre sécurité, cela indique un danger.
 - - Ce serait une bonne idée
 - - Inutile de les colorer tous
 - Pas d'utilité particulière

29/ Portez-vous des équipements de protection lors de l'usage des produits phytopharmaceutiques ?

LORS DE LA PREPARATION DE LA BOUILLIE

	1/Systématiquement	2/De temps en temps	3/Jamais
Gants			
Lunettes de protection			
Masque avec filtre			
Bottes en caoutchouc			
Combinaison			

LORS DE LA PULVERISATION

Cabine a. Fermée b. Ouverte

	1/Systématiquement	2/De temps en temps	3/Jamais
Gants			
Lunettes de protection			
Masque avec filtre			
Bottes en caoutchouc			
Combinaison			

LORS DU NETOYAGE ET DE L'ENTRETIEN DU MATERIEL

	1/Systématiquement	2/De temps en temps	3/Jamais
Gants			
Lunettes de protection			
Masque avec filtre			
Bottes en caoutchouc			
Combinaison			

30/ En quelle matière sont vos gants ?

- Gants « exprès »
- Nitrile
- Latex
- Coton
- Autre : _____

31/ Pour quelles raisons ne portez-vous pas les équipements de protection au complet (lunettes, masque, combinaison, gants et bottes en caoutchouc) ?

Je n'en ai pas dans mon exploitation

- C'est trop cher
- C'est inconfortable (exemple : chaleur)
- Je n'y pense pas
- C'est inutile
- Ils ne sont pas disponibles chez mon fournisseur
- Autre : _____

32/ Estimez-vous que les équipements suivants vous protègent des produits phytopharmaceutiques ?

	1/Protège totalement	2/Protège beaucoup	3/Protège un peu	4/Ne ne protège pas du tout	5/NSP
Gants en nitrile					
Lunettes de protection					
Masque avec filtre					
Bottes en caoutchouc					
Combinaison					

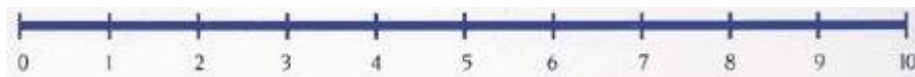
33/ Quand vous pensez aux risques pour la santé liés aux produits phytopharmaceutiques, vous pensez plutôt... :

- Aux risques immédiats
- Aux risques sur le long terme
- Les 2
- Aucun risque
- Ne sais pas

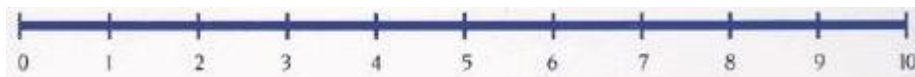
34/ Quelles conséquences redoutez-vous sur le long terme de l'usage des produits phytopharmaceutiques ?

Placer une croix sur le repère en fonction de votre ressenti

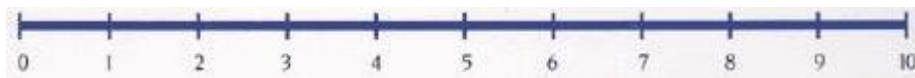
Problèmes dermatologiques



Problèmes digestifs



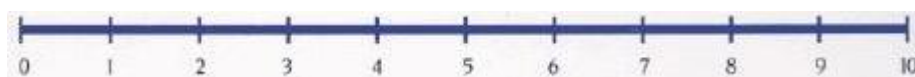
Problèmes respiratoires



Maux de tête



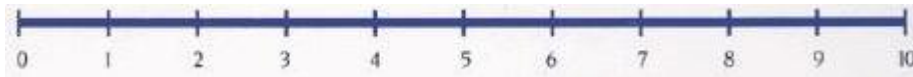
Maladies neurologiques (maladie de Parkinson, Alzheimer)



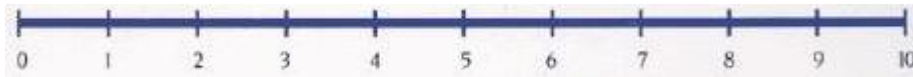
Cancers et tumeurs



Troubles neuropsychologiques : insomnies, dépression nerveuse, irritabilité, angoisse etc.



Douleurs et problèmes musculaires ou articulaires



Si autres, lesquels ? :

.....

35/ Selon vous, les produits phytopharmaceutiques en général présentent-ils un risque pour :

Placer une croix sur le repère en fonction de votre ressenti

0 = Risque

10 = Risque

Nul

maximal

La santé de l'utilisateur



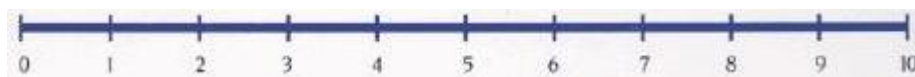
La nature, l'environnement



L'entourage immédiat (Famille, amis)



La population générale



36/ Pensez-vous que les produits phytopharmaceutiques que vous avez utilisés, par le passé, et aujourd'hui interdits puissent aboutir d'ici quelques années à un problème de santé publique comme celui de l'amiante par exemple ?

- Oui
- Non
- Ne sait pas

37/ Pensez-vous que les produits phytopharmaceutiques que vous utilisez, aujourd'hui, puissent aboutir d'ici quelques années à un problème de santé publique comme celui de l'amiante par exemple ?

- Oui
- Non
- Ne sais pas

38/ Avez-vous déjà eu un incident avec un pesticide ?

- OUI
- NON Si non, passez à la question 40

39/ Quelle était le nom du produit avec lequel vous avez eu l'incident le plus important ?

40/ Quand cela a eu lieu dans les années ...

1.2000 2. 1990 3.1980 4.1970 5.avant1960

41/ Quelle partie du corps a le plus été exposée?

- Tête et/ou visage
- Les bras
- Les mains
- Le torse, le dos, l'abdomen
- Les jambes
- Les pieds

- Les poumons, et la voie respiratoire (par respiration du produit)
- La voie digestive (par ingestion)

42/ Quelles conséquences cela a-t-il eu ?

- Plusieurs choix possibles
- Je n'utilise plus le pesticide responsable
- Je fais plus attention avec ce produit
- J'ai eu un arrêt de travail
- Je suis allé chez le médecin
- J'ai arrêté le travail quelques temps, sans consulter de médecin
- J'ai été hospitalisé
- Je souffre encore de séquelles
- Aucune

43/ Globalement, pensez-vous prendre des risques pour votre santé en utilisant les produits phytopharmaceutiques ?

- Oui
- Non

44/ Avez-vous des échanges d'ordre professionnel avec d'autres professionnels agricoles ?

	1/Très souvent	2/Souvent	3/Parfois	4/Rarement	5/Jamais
Avec d'autres agriculteurs					
Avec des personnes de votre coopérative					
Avec des personnes des chambres d'agriculture					
Avec des personnes de la MSA					
Avec des personnes d'une association agricole					
Pas d'échange avec d'autres professionnels agricoles					

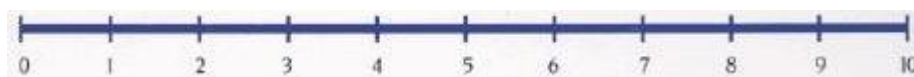
45/ Quelle fiabilité accordez-vous à ces sources d'informations concernant le risque sanitaire
lié aux produits phytopharmaceutiques?

Placez une croix sur le repère

La coopérative

Pas fiable

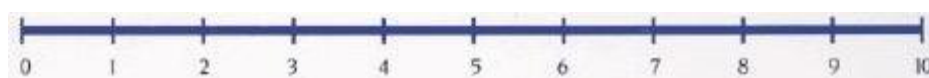
Très fiable



L'entourage proche (famille et amis)



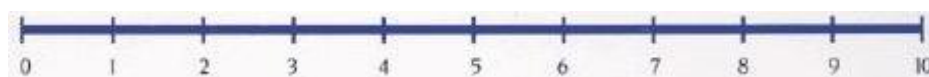
Les échanges avec les autres agriculteurs



Ce que vous trouvez sur Internet



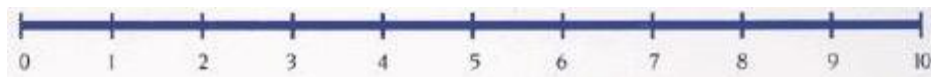
La MSA



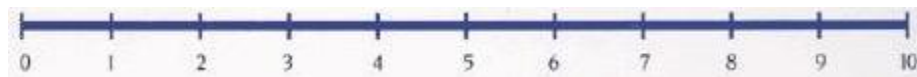
Les firmes qui fabriquent les produits phytopharmaceutiques



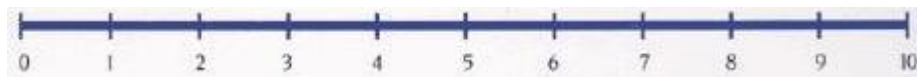
Les magazines spécialisés (ex. France agricole)



La chambre d'agriculture



Ce qui est dit à la TV ou à la radio



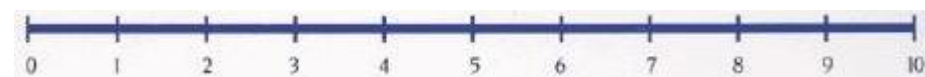
Les associations agricoles



Les formations professionnelles auxquelles vous avez assisté (Certiphyto, DAPA etc.)



Les informations sur les étiquettes des produits ou les fiches de données de sécurité



46/ Pensez-vous que le risque lié aux produits phytopharmaceutiques soit plus important pour votre santé que le risque d'être blessé ou tué lors de l'utilisation de matériel agricole ?

Exemple : chute du tracteur ou se blesser avec un outil agricole

Oui - Non

Ce n'est pas comparable

47/ Selon vous, par rapport aux activités suivantes, le risque lié au produits phytopharmaceutiques dans votre travail est... :

	1/Plus important	2/Moins important	3/Identique
Accident domestique lors de bricolage, de jardinage ou de travaux d'entretien de la maison.			
Accident de la route (hors déplacement professionnels)			
Etre victime d'un crime			
Etre victime d'une catastrophe naturelle (tremblement de terre, inondation)			
Etre victime d'une catastrophe industrielle (accident nucléaire, pollution etc.)			
Accidents lors de loisirs (piscine, ski, vélo, randonnée, etc.)			

Incomparable

48/ Si vous avez une question d'ordre technique sur un pesticide (exemple : quelle dose utiliser ?, puis-je le mélanger ce produit ?, quelle est la réglementation en vigueur, quel est le meilleur produit à utiliser ? etc.), à qui vous adresser vous en priorité ?**Plusieurs choix possibles**

- Vous contactez votre coopérative
- L'entourage proche (famille et amis)
- Vous partagez votre expérience d'autres agriculteurs de la région
- Vous cherchez sur Internet (site du fabricant, site spécialisé etc.)
- Vous contactez votre fournisseur
- Vous contactez la MSA
- Vous contactez la firme qui fabrique le pesticide

- Vous contactez les magazines spécialisés (ex. France agricole)
- Vous contactez la chambre d'agriculture
- Vous vous fiez aux informations sur les étiquettes des produits ou sur les fiches de données de sécurité
- Autres (merci de préciser) : _____

49/ Si vous avez une question d'ordre sanitaire sur un pesticide (exemples : comment vous protéger ? quel risque encourez-vous ? ce produit est-il dangereux pour moi ou mon entourage?....) à qui vous adresser vous en priorité ?

- Plusieurs choix possibles
- Vous contactez votre coopérative
- Vous contactez un professionnel de santé (médecin, infirmier, pharmacien etc....)
- Vous contactez votre entourage proche (famille et amis)
- Vous contactez les autres agriculteurs de la région
- Vous cherchez sur Internet (site du fabricant, site spécialisé)
- Vous contactez vos fournisseurs
- Vous contactez la MSA
- Vous contactez la firme qui fabrique le pesticide
- Vous contactez les magazines spécialisés (ex. France agricole)
- Vous contactez la chambre d'agriculture
- Vous vous fiez aux informations sur les étiquettes des produits ou sur les fiches de données de sécurité
- Vous ne vous posez pas la question
- Autre (merci de préciser) : _____

50/ Pensez-vous que l'homologation des produits soit une garantie pour la santé de l'utilisateur ?

- Tout à fait d'accord
- Plutôt d'accord
- Plutôt pas d'accord
- Pas d'accord du tout
- Ne sait pas

51/ Lorsqu'une homologation d'un produit est retirée, à votre avis, quelle en est la cause principale ?

- Le produit pose des problèmes sur l'environnement
- Le produit pose des problèmes pour la santé humaine
- Le fabriquant ne souhaite plus le commercialiser (exemples : stratégie commerciale, pas assez de vente etc.).

- Autre : _____

52/ Selon-vous, quelle action serait la mieux à même d'augmenter la sécurité sanitaire des produits phytopharmaceutiques dans l'avenir ?

Plusieurs choix possible

- Des primes ou des subventions afin de mieux s'équiper
- Interdire les produits phytopharmaceutiques les plus dangereux
- Des lois et des réglementations plus strictes sur la sécurité sanitaire (ex. imposer des cabines fermées)
- La recherche privée : les firmes qui fabriquent les produits phytopharmaceutiques : (exemple : proposer des meilleurs produits, de meilleures formes, baisser les coûts des produits phytopharmaceutiques etc.)
- La recherche publique : les institutions scientifiques publiques pour développer des produits moins toxiques pour l'homme
- Les organismes liés au monde agricole (MSA, coopérative, chambres d'agriculture) :
- Les formations (exemple Certiphyto)
- De meilleurs équipements de protection (plus confortables, moins chers etc....)
- Passer en agriculture biologique
- La recherche médicale, pour mieux traiter les conséquences
- Autre : _____

53/ Avez-vous des questions ou des remarques ?

ANNEXE III : LA FICHE DE DONNEES DE SECURITE

La Fiche de données de Sécurité doit être disponible pour tous les produits dangereux mis sur le marché : elle est remise par tout fabricant à l'utilisateur professionnel. Elle est régie par le code du travail.

[Article R. 4411-73 du code du travail](#)

“Le fournisseur d’une substance ou mélange dangereux fournit au destinataire de cette substance ou mélange une fiche de données de sécurité conforme aux exigences prévues au titre IV et à l’annexe II du règlement (CE) n° 1907/2006 du Parlement et du Conseil du 18 décembre 2006 concernant l’enregistrement, l’évaluation et l’autorisation des substances chimiques, ainsi que les restrictions applicables à ces substances (REACH), instituant une agence européenne des produits chimiques, modifiant la directive 1999/45/CE et abrogeant le règlement (CEE) n° 793/93 du Conseil et le règlement (CE) n° 1488/94 de la Commission ainsi que la directive 76/769/CEE du Conseil et les directives 91/155/CEE, 93/67/CEE, 93/105/CE et 2000/21/CE de la Commission.”

[Article R. 4624-4 du code du travail](#)

“Afin d’éviter toute altération de la santé des travailleurs du fait de leur travail, le médecin du travail ou, dans les services de santé au travail interentreprises, l’équipe pluridisciplinaire est informé :1° De la nature et de la composition des produits utilisés ainsi que de leurs modalités d’emploi. L’employeur transmet notamment au médecin du travail les fiches de données de sécurité délivrées par le fournisseur de ces produits ;2° Des résultats de toutes les mesures et analyses réalisées dans les domaines mentionnés à l’article R. 4623-1. “

Constituée de 16 points et rédigée dans la langue de l’état où le produit est vendu, cette fiche renseigne sur les pratiques de prévention et de sécurité vis-à-vis du produit concerné pour son utilisation ou la préparation contenant ce produit. Les fiches de données de sécurité doivent être fournies dans les langues officielles des États membres dans lesquels la substance ou la préparation est mise sur le marché. Les 16 points de la FDS sont les suivants :

- 1: Identification de la substance ou de la préparation, et de la personne physique ou morale responsable de la mise sur le marché
- 2 : composition/informations sur les composants

- 3 : Identification des dangers
- 4 : Premiers secours
- 5 : Mesures de lutte contre l'incendie
- 6 : Mesures à prendre en cas de dispersion accidentelle
- 7 : Manipulation et stockage
- 8 : Contrôle de l'exposition et protection individuelle
- 9 : Propriétés physiques et chimiques
- 10 : Stabilité et réactivité
- 11 : Informations toxicologiques
- 12 : Informations écologiques
- 13 : Considérations relatives à l'élimination
- 14 : Informations relatives au transport
- 15 : Informations réglementaires
- 16 : Autres informations

Annexe IV : Capture d'écran complète de l'écran du German Model

THE GERMAN MODEL (GEOMETRIC MEAN VALUES)

Application method	Tractor-mounted/trailed boom sprayer: hydraulic nozzles		
Product	Bloggo WC	Active substance	bloggo
Formulation type	WG	a.s. concentration	500 g/kg
Dermal absorption from product	100 %	Dermal absorption from spray	100 %
RPE during mix/loading	None	RPE during application	None
PPE during mix/loading	None		
PPE during application:	Head: None	Hands: None	Body: None
Dose	0,96 kg product/ha	Work rate/day	20 ha

DERMAL EXPOSURE DURING MIXING AND LOADING

Hand contamination/kg a.s.	2 mg/kg a.s.
Hand contamination/day	19,2 mg/day
Protective clothing	none
Transmission to skin	100 %
Dermal exposure to a.s.	19,2 mg/day

INHALATION EXPOSURE DURING MIXING AND LOADING

Inhalation exposure/kg a.s.	0,008 mg/kg a.s.
Inhalation exposure/day	0,0768 mg/day
RPE	none
Transmission through RPE	100 %
Inhalation exposure to a.s.	0,0768 mg/day

DERMAL EXPOSURE DURING SPRAY APPLICATION

Application technique	Tractor-mounted/trailed boom sprayer: hydraulic nozzles		
	Head	Hands	Rest of body
Dermal contamination/kg a.s.	0,06	0,38	1,6
Dermal contamination/day	0,576	3,648	15,36
Protective clothing	none	none	none
Transmission to skin	100	100	100 %
Total dermal exposure to a.s.	19,584 mg/day		

INHALATION EXPOSURE DURING SPRAYING

Inhalation exposure/kg a.s.	0,001 mg/kg a.s.
Inhalation exposure/day	0,0096 mg/day
RPE	none
Transmission through RPE	100 %
Inhalation exposure to a.s.	0,0096 mg/day

ABSORBED DOSE

	Mix/load	Application
Dermal exposure to a.s.	19,2 mg/day	19,584 mg/day
Percent absorbed	100 %	100 %
Absorbed dose (dermal route)	19,2 mg/day	19,584 mg/day
Inhalation exposure to a.s.	0,0768 mg/day	0,0096 mg/day
Total systemic exposure	19,2768 mg/day	19,5936 mg/day

PREDICTED EXPOSURE

Total systemic exposure	38,8704 mg/day
Operator body weight	70 kg
Operator exposure	0,555291429 mg/kg bw/day

Annexe V : Tableau des produits phytopharmaceutiques encore disponibles en France et potentiellement cancérogènes d'après l'US-EPA et le CIRC.

Produit phytopharmaceutique	US-EPA	CIRC
2,4-D	D, Unclassifiable, ambiguous data	2B, Possible
2,4-DB	Not Likely	2B, Possible
Acétochlore	Suggestive	
Aminotriazole	Likely	2B->3
Amitrole	Likely (high doses), Not likely (low doses)	3, Unclassifiable
Benfluraline	Suggestive evidence	
Bifenthrine	Suggestive evidence	
Boscalid/Nicobifen	Suggestive evidence	
Bromoxynil phenol	Suggestive evidence	
Captane	Not Likely	3
Carbendazime	C, Possible	
Chlorothalonil	B2, Probable	2B, Possible
Chlortoluron	C, Possible	
Clofentezine	C, Possible	
Cyperméthrine	C, Possible	
Cyproconazole	B2, Probable	
Daminozide	B2, Probable	
Deltamethrine	Not likely	3, Unclassifiable
Dicamba sels Diméthylamine et sodium	D, Unclassifiable, inadequate data	
Dichlorprop p		2B, Possible
Diclofop méthyl	Likely	
Difenoconazole	C, Possible	
Diméthoate	C, Possible	
Epoxiconazole	Likely	
Ethoprophos	Likely	
Ethylene		3, Unclassifiable
Etofenprox	Likely (high doses), Not likely (low doses)	
Fenoxycarbe	Likely	
Fipronil	C, Possible	
Flonicamid	Suggestive	
Fluazinam	Suggestive	
Folpel	B2, Probable	
Formaldehyde	B1, Probable	1, Known
Glufosinate ammonium	Not Likely	
Imazalil	Likely	
Iprodione	Likely	
Iprovalicarbe	Likely	
Isoxaflutole	Likely	
Kresoxim-méthyl	Likely	
Linuron	C, Possible	
Mancozèbe	B2, Probable	
Manèbe	B2, Probable	3, Unclassifiable

Mecoprop p		2B, Possible
Mepanipyrim	Likely	
Metam-sodium	B2, Probable	
Metirame-zinc	B2, Probable	
Oryzalin	Likely	
Oxadiazon	Likely	
Oxyde d'ethylene	B1, Probable	1, Known
Pendiméthaline	C, Possible	
Phosmet	Suggestive	
Pirimicarbe	Likely	
Propiconazole	C, Possible	
Propyzamide	B2, Probable	
Pymetrozine	Likely	
Pyraflufen ethyl	Likely	
Pyrethrines	Suggestive	
Pyriméthanil	C, Possible	
Pirimicarbe	Likely	
S-metolachlore	C, Possible	
Sulfosulfuron	Likely	
Tebuconazole	C, Possible	
Tébufenpyrad	Suggestive	
Tetraconazole	Likely	
Thiabendazole	Likely (high doses), Not likely (low doses)	
Thiacloprid	Likely	
Thiophanate-methyl	Likely	
Triadimenol	C, Possible	
Triallate	C, Possible	
Tribenuron-methyle	C, Possible	
Triflurosulfuron-methyle	C, Possible	
Zeta-cypermethrine	C, Possible	
Zirame	Suggestive	3, unclassifiable

CIRC : Centre internationale de la recherche sur le cancer

US-EPA : Agence américaine de protection de l'environnement

NOTE : L'US-EPA a introduit le classement des substances cancérigènes en 1986. Cependant la notation des catégories a été modifiée au cours du temps. De 1986 à 1996, 4 catégories existaient : A (cancérigènes certains), B1 (Cancérigènes probables, mais manque de données épidémiologique) B2 (Cancérigène probable chez l'animal mais manque de données chez l'homme), C (possible, mais données lacunaires), D (non classables, aucune données) et enfin E (non cancérigène). Depuis 1999, l'EPA utilise le classement suivant : « Carcinogenic to humans » (cancérigènes certains chez l'homme), « Likely » (probablement cancérigènes, fortes preuves expérimentales), « Suggestive evidence of carcinogenicity, but not sufficient to assess human carcinogenic potential » (suspicion importante de cancérigénicité, mais manque de données expérimentales), « Data are inadequate for an assessment of human carcinogenic potential » (non déterminé, manque de données), « Not likely to be carcinogenic to human » (substance non cancérigène) 24. La classification ayant changée entre 1986 et aujourd'hui, toutes les substances ne sont pas révisées et peuvent encore être référencées dans les bases de données avec la classification ancienne. La classe de cancérigénicité est laissée telle qu'indiquée dans la base de données du PAN, puisque l'EPA n'a pas encore reclassée l'ensemble des produits phytopharmaceutiques.

²⁴

US-EPA : Evaluating Pesticide for Carcinogenic Potential :
<http://www.epa.gov/opp00001/health/cancerfs.htm>

**Annexe V: Questionnaire de mesure de l'exposition réalisé pour chaque prélèvement
chez les agriculteurs.**

DATE : LIEU : HEURE :

NUMERO D'EXPLOITATION :

NUMERO D'AGRICULTEUR ECHANTILLONNAGE :

NOMBRE D'ECHANTILLONS :

Age :Année d'expérience :

Fumeur : OUI/NON/ANCIEN Arrêt depuis :

Surface totale :

Type Viticulture Elevage Autre

Surface / Têtes Rouge :

Blanc :

Nombre moyen de traitements annuels (y compris herbicides) :

Certiphyto : OUI/NON

Autres Infos :

TRAITEMENT :

Nom du produit	Dosage pur	Volume pur utilisé	Dose à l'hectare de bouillie

Durée du traitement : Heure début : Heure de fin :

MATERIEL :

Type de pulvérisateur : AERO / PNEUMATIQUE

AUTRE :

Marque :

Débit à l'heure :

Volume cuve :

Présence d'un DPA : OUI / NON

Filtre Charbon : OUI/NON

AUTRE TYPEE DE FILTRE :

CABINE : OUI/NON

Présence de trous dans la cabine ? NON / OUI

Date de Changement du filtre :

Ne Sais pas / En début / fin de campagne

Autre système ? :

EPI (DECLARATIF) :

	PREPARATION	PULVERISATION	NETTOYAGE	Divers :
Lunettes	EPI / VUE ou SOLAIRE Autre :	EPI / VUE ou SOLAIRE Autre :	EPI / VUE ou SOLAIRE Autre :	EPI / VUE ou SOLAIRE Autre :
Masque				
Gants	Matière :	Matière :	Matière :	Matière :
Bottes	Bottes Type Chantier Autre chaussures :	Bottes Type Chantier Autre chaussures :	Bottes Type Chantier Autre chaussures :	Bottes Type Chantier Autre chaussures :
Combinaison	Matière :	Matière :	Matière :	Matière :
Autre				

PERCEPTION DU PRODUIT :

Vous sentez vous protégé vis-à-vis des produits phytopharmaceutiques que vous utilisez ?
OUI/ NON

Quel produit du traitement du jour vous paraît être le plus dangereux pour votre santé ? :

Conséquences redoutées :

Long terme/court terme

Organe/maladie

Note de 0 à 10 sur le danger perçus produit 1 : Produit 2 :

Autres produits perçus comme plus dangereux ? :

Entre folpel et la Bouillie Bordelaise, lequel vous paraît le plus dangereux ?

F/B/ Idem

Estimez-vous pouvoir améliorer encore votre sécurité, pensez-vous faire le mieux possible ?

Oui / Non

Que pouvez-vous améliorer dans votre pratique pour augmenter la sécurité/diminuer le risque ?

EPI (OBSERVATION) :

	PREPARATION	PULVERISATION	NETTOYAGE	Divers
Lunettes	EPI/ VUE ou SOLAIRE Autre :	EPI/ VUE ou SOLAIRE Autre :	EPI/ VUE ou SOLAIRE Autre :	EPI/ VUE ou SOLAIRE Autre :
Masque	Type :	Type :	Type :	Type :
Gants	Matière :	Matière :	Matière :	Matière :
Bottes	Bottes Type Chantier Autre chaussures :	Bottes Type Chantier Autre chaussures :	Bottes Type Chantier Autre chaussures :	Bottes Type Chantier Autre chaussures :
Combinaison	Matière :	Matière :	Matière :	Matière :
Autre				

INCIDENT LORS DU TRAITEMENT :

Remplissage

Traitement

Fin de traitement

ANNEXE VI : MODELE DE CARACTERISATION DU RISQUE

FOLPEL	A seuil	Sans seuil	Risque a seuil	1		Risque innacceptable
	AOEL	OSF	Risque sans seuil	0,00001		Risque acceptable
	0,1	0,0035				
			Nombre de traitements par an	3	3	3
Dosage	1500 g/Ha		Années d'experience	41,5	24	5
Transmission dermique	100%		Année de traitements	0,34109589	0,197260274	0,04109589
			Année de traitements 6h/j	0,261506849	0,049315068	0,010273973
			AERO temps parcelle	2,3		
				Années d'activité professionnelle		
	EPI Portés			41,5 ANS	24 ANS	5 ANS
Pulvérisateur	PREPARATION	PULVERISATION	Modèle BBA	Sans seuil 8/24	Sans seuil 6/24	Sans seuil 6/24
PNEUMATIQUE	Pas d'EPI	Pas d'EPI	1,735285714	2,27E-05	4,28E-06	8,91E-07
		Gants	1,574057143	2,06E-05	3,88E-06	8,09E-07
		Combi	1,083857143	1,42E-05	2,67E-06	5,57E-07
		Masque	1,729722857	2,26E-05	4,27E-06	8,89E-07
		Gants+masque	1,568494286	2,05E-05	3,87E-06	8,06E-07
		Gants+combi	0,922628571	1,21E-05	2,27E-06	4,74E-07
		combi+masque	1,078294286	1,41E-05	2,66E-06	5,54E-07
		Gants+combi+ masque	0,917065714	1,20E-05	2,26E-06	4,71E-07
	Gants	Pas d'EPI	0,886714286	1,16E-05	2,19E-06	4,56E-07
		Gants	0,725485714	9,49E-06	1,79E-06	3,73E-07
		Combi	0,235285714	3,08E-06	5,80E-07	1,21E-07
		Masque	0,881151429	1,15E-05	2,17E-06	4,53E-07
		Gants+masque	0,719922857	9,41E-06	1,78E-06	3,70E-07
		Gants+combi	0,074057143	9,68E-07	1,83E-07	3,80E-08
		combi+masque	0,229722857	3,00E-06	5,66E-07	1,18E-07
		Gants+combi+ masque	0,068494286	8,96E-07	1,69E-07	3,52E-08
	Gants+Masque	Pas d'EPI	0,883354286	1,16E-05	2,18E-06	4,54E-07
		Gants	0,722125714	9,44E-06	1,78E-06	3,71E-07
		Combi	0,231925714	3,03E-06	5,72E-07	1,19E-07
		Masque	0,877791429	1,15E-05	2,16E-06	4,51E-07
Gants+masque		0,716562857	9,37E-06	1,77E-06	3,68E-07	
Gants+combi		0,072355714	9,46E-07	1,78E-07	3,72E-08	
combi+masque		0,070697143	9,24E-07	1,74E-07	3,63E-08	
Gants+combi+ masque		0,065134286	8,52E-07	1,61E-07	3,35E-08	

Cette capture d'écran représente le modèle de caractérisation du risque développé pour ce travail. Les cases bleues sont paramétrables. La durée de traitement, les VTR et les années d'expérience sont les facteurs évalués ici. Lorsque ces paramètres sont réglés, les valeurs d'expositions issues du modèle BBA (Annexe IV) sont entrées dans le tableau du bas, colonne " modèle BBA" pour obtenir les ERI selon le port des EPI et le nombre d'années d'activité professionnelle. Les ERI sont ici représentés dans les cases jaunes et vertes du tableau inférieur.

ANNEXE VII : FICHE IRIS DE L'US-EPA POUR LE FOLPEL



http://cfpub.epa.gov/ncea/iris/index.cfm?fuseaction=iris.showQuickView&substance_nmbr=0242
Last updated on mardi 29 janvier 2013

Integrated Risk Information System (IRIS)

You are here: [EPA Home](#) [Research](#) [Environmental Assessment](#) [IRIS Home](#) Folpet Quickview (CASRN 133-07-3)

Folpet Quickview (CASRN 133-07-3)

Health assessment information on a chemical substance is included in IRIS only after a comprehensive review of toxicity data by U.S. EPA health scientists from several Program Offices, Regional Offices, and the Office of Research and Development.

Disclaimer: This QuickView represents a snapshot of key information. We suggest that you read the [IRIS Summary](#) to put this information into complete context.

For definitions of terms in the IRIS Web site, refer to the [IRIS Glossary](#).

Status of Data for Folpet

File First On-Line: 09/30/1987; Last Significant Revision: 08/22/1988

Category (section)	Status	Last Revised
Oral RfD Assessment	On-line	03/01/1991
Inhalation RfC Assessment	No data	
Carcinogenicity Assessment	On-line	10/01/1993

Synonyms

- 133-07-3
- Folpan
- Folpet
- Ftalan
- 1h-Isoindole-1,3(2h)-dione, 2-((trichloromethyl)thio)-
- n-(Trichloromethylthio)-phthalimid
- n-(Trichloromethylthio)phthalimide
- n-(Trichloromethylmercapto)phthalimide
- n-(Trichloromethylthio)phthalimide
- Orthophaltan
- Phaltan
- more...

Folpet Source Documents

- Folpet Summary

Revision History

Date	Section	Description
04/01/1997	III., IV., V.	Drinking Water Health Advisories, EPA Regulatory Actions, and Supplementary Data were removed from IRIS on or before April 1997. IRIS users were directed to the appropriate EPA Program Offices for this information.

- See IRIS Summary for complete revision history.

Chronic Health Hazard Assessments for Noncarcinogenic Effects

Reference Dose for Chronic Oral Exposure (RfD)

Critical Effect	Point of Departure*	UF	RfD
Decreased body weight gain, altered serum chemistry parameters	NOEL : 1.0×10^{-1} mg/kg-day	100	1×10^{-1} mg/kg-day

* The Point of Departure listed serves as a basis from which the Oral RfD was derived. See Discussion of Conversion Factors and Assumptions for more details.

- Principal and Supporting Studies (Oral RfD)
 - Chronic oral toxicity study in dogs, Chevron Chemical, 1986
- Confidence in the Oral RfD
 - Study -- High
 - Database -- High
 - RfD -- High

Reference Concentration for Chronic Inhalation Exposure (RfC)

Not Assessed under the IRIS Program.

Carcinogenicity Assessment for Lifetime Exposure

- Weight-of-Evidence Characterization
 - B2 (Probable human carcinogen - based on sufficient evidence of carcinogenicity in animals)
- Weight-of-Evidence Narrative:

<ul style="list-style-type: none"> Folpet has induced carcinoma and adenoma of the duodenum (an unusual site) in both sexes of both CD-1 and B6C3F1 mice. Folpet is also mutagenic in several in vitro assays and is a structural analogue of captan, which has been shown to induce carcinoma in the duodenum of two mouse strains. This may be a synopsis of the full weight-of-evidence narrative. See IRIS Summary. 	
Quantitative Estimate of Carcinogenic Risk from Oral Exposure	
Oral Slope Factor(s)	Extrapolation Method
3.5×10^{-3} per mg/kg-day	Linearized multistage procedure, extra risk
Drinking Water Unit Risks	
1.0×10^{-7} per $\mu\text{g/L}$	
Risk Level	Concentration
E-4 (1 in 10,000)	$1 \times 10^3 \mu\text{g/L}$
E-5 (1 in 100,000)	$1 \times 10^2 \mu\text{g/L}$
E-6 (1 in 1,000,000)	$1 \times 10^1 \mu\text{g/L}$
<ul style="list-style-type: none"> Dose-Response Data (Carcinogenicity, Oral Exposure) <ul style="list-style-type: none"> Tumor Type: Digestive tract tumors (adenoma and/ or adenocarcinoma) Test Species: Mouse/CD1, males and females Route: Oral, Diet Reference: Chevron, 1982 	
Quantitative Estimate of Carcinogenic Risk from Inhalation Exposure	
<ul style="list-style-type: none"> Not Assessed under the IRIS Program. 	

<p align="center">ANNEXE VIII : RESUME DE LA METHODE DE DOSAGE DU LABORATOIRE PHYTOCONTROL</p> <p align="center">POUR LE FOLPEL ET LE CUIVRE</p>
--

Analyse des produits phytopharmaceutiques.

Analyse des métaux lourds et des éléments traces métalliques (ETM).

Sommaire

I. Analyse de multi résidus de produits phytopharmaceutiques (GC-MS-MS)

I.1 Principe

I.2 Domaine d'application

II. Analyse de cuivre (Torche à plasma couplée à un spectromètre de masse (ICP-MS))

I.1 Principe

I.2 Domaine d'application Phytocontrol

I. Analyse multi résidus de produits phytopharmaceutiques (GC-MS-MS)

I.1 Principe

L'échantillon broyé est extrait avec de l'acétonitrile. Les échantillons présentant une teneur en eau faible (<80 %) nécessitent une addition d'eau avant de procéder à l'extraction initiale, de manière à obtenir un contenu total en eau d'au moins 10g. Après addition de sulfate de magnésium, de chlorure de sodium et de sels de tampons citrate (pH 5 à pH 5,5), le mélange est secoué vigoureusement et centrifugé afin d'en séparer les phases.

Une partie aliquote de la phase organique est purifiée par extraction en phase solide dispersée (D-SPE) à l'aide d'adsorbants et de sulfate de magnésium pour retirer l'eau résiduelle. Après purification l'extrait final est acidifié par addition d'une petite quantité d'acide formique afin d'améliorer la stabilité de certains produits phytopharmaceutiques sensibles aux bases. L'extrait final peut être utilisé directement pour les analyses par chromatographie en phase gazeuse (CG). La détermination est réalisée à l'aide d'un étalon interne, ajouté à l'extrait après addition initiale d'acétonitrile.

I.2 Domaine d'application

Cette méthode permet le dosage de résidus de produits phytopharmaceutiques dans les produits d'origine végétale tels que les fruits (y compris fruits secs), les légumes, les céréales et leurs produits dérivés. La gamme d'étalonnage va de 0,01 mg/kg à 0,5 mg/kg.

II. Analyse de cuivre (Torche à plasma couplée à un spectromètre de masse (ICP-MS))

II.1 Principe

Les échantillons sont minéralisés par voie humide à l'aide d'une micro-onde à système fermé. La teneur des échantillons en métaux lourds ou ETM est ensuite déterminée par ICP-MS.

II.2 Domaine d'application

Cette méthode permet de déterminer la teneur en arsenic, en plomb, en cadmium, en nickel et en cuivre sur toutes denrées alimentaires (y compris alimentation infantile).

ANNEXE IX : CONVERSION DU PHTALIMIDE EN EQUIVALENT FOLPEL

					Qte. mg.kg ⁻¹		Qte. mg		Qte. mol			Equivalent Folpel
ECHNATILLON	TYPE DE PRELEVEMENT	MATRICE	EPI	Poids éch. en g	Folpel	Phtalimide	Folpel	Phtalimide	Folpel	Phtalimide	Total	en mg
4A	Point zéro	G	L M G C	92	0,16	0,07	0,01	0,01	5,46E-08	4,19E-08	9,65E-08	0,03
4B	Point zéro	G	L M G C	91	1,80	0,50	0,17	0,05	6,14E-07	3,13E-07	9,27E-07	0,25
4C	Point zéro	G	L M G C	93	0,07	0,05	0,01	0,00	2,39E-08	3,38E-08	5,77E-08	0,02
5A	Fin du remplissage	G	L M G C	93	4594	455,1	422,62	41,87	1,57E-03	2,85E-04	1,85E-03	499,33
5B	Fin du remplissage	G	L M G C	91	12970	11878,6	1193,24	1092,83	4,43E-03	7,43E-03	1,19E-02	3195,43
5C	Fin du remplissage	G	L M G C	94	3511	467,7	323,01	43,03	1,20E-03	2,92E-04	1,49E-03	401,84
6	Point zéro	M	G T	91	0,50	6,30	0,05	0,58	1,71E-07	3,94E-06	4,11E-06	1,11
7A	Fin du remplissage	M	G T	93	15,6	408	1,44	37,54	5,32E-06	2,55E-04	2,60E-04	70,21
7B	Fin du remplissage	M	G T	92	1,5	88,	0,14	8,16	5,12E-07	5,55E-05	5,60E-05	15,09
8A	Fin du traitement	M	0	92	25,1	164,30	2,31	15,12	8,57E-06	1,03E-04	1,11E-04	30,00
8B	Fin du traitement	M	0	91	0,07	0,33	0,01	0,03	2,49E-08	2,06E-07	2,31E-07	0,06
35	Point zéro	M	0	92	0,07	0,33	0,01	0,03	2,49E-08	2,06E-07	2,31E-07	0,06
36A	Fin du remplissage	M	0	91	2374	786	218,41	72,31	8,10E-04	4,91E-04	1,30E-03	350,89
36B	Fin du remplissage	M	0	94	405	133	37,26	12,24	1,38E-04	8,32E-05	2,21E-04	59,68
37A	Fin du traitement	M	0	92	1389	630	127,79	57,96	4,74E-04	3,94E-04	8,68E-04	233,98
37B	Fin du traitement	M	0	91	262	57	24,10	5,24	8,94E-05	3,56E-05	1,25E-04	33,71
Masse molaire en g.mol ⁻¹												
Folpel			269,56			Phtalimide			147,131			

**ANNEXE X : DENOMBREMENT DES CONTACTS LORS DES 3 PREPARATIONS DE
L'EXPLOITATION N°3**

Les contacts directs sont ceux pour lesquels le viticulteur touche une zone souillée par du produit phytopharmaceutique, les contacts indirects sont ceux où le viticulteur touche une zone supposée non contaminée.

D = Droit, G = Gauche

		Contacts	Direct	Indirect
PREPARATION 1	Bidon/bouchon/opercule/sac produit	49	9	40
	Cuve intermédiaire	12	0	12
	Jauge cuve intermédiaire	3	0	3
	Manette arrivée d'eau	4	0	4
	Manette eau rince bidon	13	1	12
	Outils	11	0	11
	Panneau de commande	3	0	3
	Raccord tuyau/tuyau	5	1	4
	Total	100	11	89

		Contacts	Direct	Indirect
PREP. 1	AV BRAS D	3	0	3
	AV BRAS G	4	0	4
	MAIN D	29	10	19
	MAIN G	47	1	46
	MAINS	17	0	17
	PIED D	0	0	0
	Total	100	11	89

		Contacts	Direct	Indirect
PREPARATION 2	Bidon/bouchon/opercule/sac produit	48	7	41
	Cuve intermédiaire	9	0	9
	Jauge cuve intermédiaire	1	0	1
	Manette arrivée d'eau	2	0	2
	Manette eau rince bidon	10	2	8
	Outils	0	0	0
	Panneau de commande	4	0	4
	Raccord tuyau/tuyau	1	0	1
	Total	75	9	66

		Contacts	Direct	Indirect
PREP. 2	AV BRAS D	0	0	0
	AV BRAS G	3	0	3
	MAIN D	46	9	37
	MAIN G	18	0	18
	MAINS	7	0	7
	PIED D	1	0	1
	Total	75	9	66

		Contacts	Direct	Indirect
PREPARATION 3	Bidon/bouchon/opercule/sac produit	5	1	4
	Cuve intermédiaire	1	0	1
	Jauge cuve intermédiaire	2	0	2
	Manette arrivée d'eau	3	0	3
	Manette eau rince bidon	3	0	3
	Outils	1	0	1
	Panneau de commande	4	0	4
	Raccord tuyau/tuyau	0	0	0
	Total	19	1	18

		Contacts	Direct	Indirect
PREPARATION 3	AV BRAS D	0	0	0
	AV BRAS G	0	0	0
	MAIN D	11	1	10
	MAIN G	5	0	5
	MAINS	2	0	2
	PIED D	1	0	1
	Total	19	1	18

Annexe XI : Le local phytosanitaire

Le document suivant rappelle les règles de construction et de gestion du local phytosanitaire.

Entre obligations légales et recommandations, le local de stockage des produits phytopharmaceutiques doit répondre à trois objectifs essentiels : assurer la sécurité des personnes, de l'environnement et conserver les propriétés physico-chimiques des produits.

Régi aussi bien par le code du travail que celui de l'environnement, l'installation d'un local de stockage pour les produits phytopharmaceutiques demande une bonne connaissance de la réglementation. Au-delà, il s'agit de recommandations de bon sens pour faciliter et sécuriser le travail.

Les obligations légales

Construction

Afin d'éviter une pollution accidentelle du milieu environnant, le local doit être distant de 35 mètres des cours d'eau, puits, mares et forages. Fermé à clef, le local doit être aéré et ventilé (points haut et bas) et présenter une installation électrique conforme à la norme (NF-C 15-100).

Pour parer à tout accident, la réglementation impose de placer un extincteur à poudre ABC avec son panneau de signalisation à l'extérieur du local phyto. Une réserve d'eau doit aussi être disponible à proximité du lieu de préparation des bouillies. A l'intérieur, installez des bacs contenant de la matière absorbante (sable, argile, vermiculite..) et une pelle en cas de versement de produits.

Pour tout stockage de produits inflammables, installer des portes s'ouvrant vers l'extérieur.

Protection de l'utilisateur et de la santé humaine

Le local est réservé exclusivement au stockage des produits phytopharmaceutiques : aucun produit destiné à l'alimentation humaine ou animal ne doit y être introduit.

Afin d'assurer la protection des utilisateurs, le code du travail demande à ce que les produits soient conservés dans leur emballage d'origine, bien fermé et avec étiquettes, pour éviter les confusions. En ce qui concerne les produits stockés, la réglementation oblige la séparation et l'identification des produits T, T+ et CMR des autres. L'ensemble du matériel utilisé et réservé uniquement aux traitements doit être stocké à l'intérieur du local. Les vêtements de protection individuelle (combinaison, gants, masque,...) doivent être rangés dans un vestiaire proche mais séparé de la pièce où sont stockés les produits.

Informations

Les mentions « local de produits phytopharmaceutiques » et « interdiction de fumer », ainsi que les consignes de sécurité doivent être affichées et mises en évidence : les numéros d'urgence (Samu-15, Police Secours-17, Pompiers-18, Général-112 même sans réseau ni crédits téléphoniques) et le contact téléphonique des centres antipoison (cf. liste téléphonique centres antipoison).

Centres antipoison et de toxicovigilance	
Ville	Téléphone
Angers	02 41 48 21 21
Bordeaux	05 56 96 40 80
Lille	0 825 812 822
Lyon	04 72 11 69 11
Marseille	04 91 75 25 25
Nancy	03 83 32 36 36
Paris	01 40 05 48 48
Rennes	02 99 59 22 22
Strasbourg	03 88 37 37 37
Toulouse	05 61 77 74 47

Il peut aussi être rappelé que l' « Entrée est interdite aux personnes non autorisées ». Enfin, les fiches de données sécurités (FDS) doivent être disponibles à proximité mais situés dans un autre local.

Quelques recommandations

Choix du lieu

Il est fortement conseillé d'installer le local, éloigné des habitations et locaux pour animaux : en général, une distance de 50 mètres est préconisée.

ATTENTION: le règlement sanitaire départemental, ou RSD, peut imposer des distances d'éloignement par rapport aux habitations, aux puits, aux cours d'eau et imposer des aménagements spécifiques (ex : 35 m de distance minimum des points d'eau et local en rétention en Eure-et-Loir). Il faut impérativement le consulter. **Les nouveaux forages** doivent être implantés à une distance minimale de 35 m des stockages de produits chimiques ou de produits susceptibles d'altérer la qualité des eaux souterraines (cf. Arrêté du 11 septembre 2003).

Aménagement particulier

Un sol étanche avec un seuil surélevé au niveau de la porte protégera des déversements dans le milieu environnant en créant une cuve de rétention. Pour les produits, des caillebotis peuvent être utilisés pour éviter la pose de bidons à même le sol. Enfin, la mise hors gel du local est recommandée.

Pour faciliter les opérations de récupération des emballages, les bidons rincés sont conservés dans un sac spécifique, bouchons à part et clairement identifiés.

Volume de stockage d'un local de produits :

Une installation, si elle présente des dangers ou inconvénients pour le voisinage, la santé humaine ou l'environnement sera classée ICPE (Installation Classée pour la Protection de l'Environnement). Le stockage de produits phytopharmaceutiques dépend de cette législation. Elle comporte des rubriques (voir tableau ci-dessous) qui classent les produits en fonction de

leurs caractéristiques de danger, en prenant en compte le classement toxicologique et certaines phrases de risques. A chaque rubrique sont attribués des seuils de quantité de produits pouvant être stockés sans déclaration : c'est le cas de l'exploitation agricole. Au-delà de ces seuils, les établissements sont soumis soit à déclaration, autorisation ou autorisation avec servitudes.

Pour connaître rapidement la rubrique ICPE d'un produit, vous pouvez vous rapporter à la FDS.

Classements	Rubrique ICPE	État	Seuils de quantité de produits pouvant être stockés sans déclaration
Les produits T+ comportant l'une des phrase de risques suivantes : R26, R27, R28 et R39 voie d'exposition 26.27.28	1111	Liquide Solide	0 à 50 kg 0 à 200 kg
Les produits T comportant l'une des phrases de risques suivantes : R23, R24, R25 et R39 ou R48 voie d'exposition 23.24.25 (y compris les produits N)	1131	Liquide Solide	0 à 1 t 0 à 5 t
Les produits T comportant la phrase de risque R48	1132	Liquide Solide	0 à 1 t 0 à 5 t
N (R50 et R50/53)	1172		0 à 20 t
N (R51/53)	1173		0 à 100 t
F (inflammable) et préparation à point éclair <100°C	1432		0 à 10 m ³
F (inflammable)	1450	Solide	0 à 50 kg
Soufre > 70% avec EMI* < ou = 100mJ <small>*Energie Minimale d'Inflammation</small>	1523	Solide en vrac	0 à 500 kg
Soufre > 70%	1523	Solide	0 à 50 t
Réaction violente au contact de l'eau (R14)	1810		0 à 2 t
Dégagement de gaz toxique au contact de l'eau (R29)	1820		0 à 2 t
Activité d'entreposage (combustibles >500 t)	1510		0 à 5000 m ³

Au-delà de ces seuils, les établissements sont soumis soit à déclaration, autorisation ou autorisation avec servitudes.

Annexe XII : comparaison entre les mesures de terrain et les modélisations

Exploitation numéro	Produit	DOSES EMPLOYEES				MESURES D'EXPOSITION					
						Préparation				Pulvérisation	
						Dose modélisées en mg		Dose mesurées en mg		Dose modélisées en mg	Dose mesurées en mg
		Surface traitée en ha	g/l SA Pure	l ou Kg SA / Ha	Qte manipulée en g	Sous EPI	Sans EPI	sur peau	sur gant	Sans EPI	Sans EPI
1	Nordox 75	10	750	0,7	5250		25,20			2,94	
	BB	10	200	2,5	5000		24,00			2,80	
	Total				TOTAL -> 10250		49,20		27,67	5,74	8,46
2	Folpel	10	480	2,88	13824	0,27	26,54		499,33		
		6	480	2,88	8294,4	0,27	26,54		3195,43		
		2	480	2,88	2764,8	0,27	26,54		401,84		
3	F	6	800	1,9	9120	0,29	29,18	10,01		8,51	4,82
	Cu	6	200	3,75	4500	0,36	36,00	0,55		4,20	6,92
4	Cu	13	200	3,75	9750	0,36	36,00		3,40	4,20	5,67
5	Nordox 75	1	750	0,3	225	0,11	10,80			1,26	
	BB	1	200	1,5	300	0,14	14,40			1,68	
	Total Cuivre				TOTAL -> 525	0,25	25,20		0,23	2,94	0,19
6	Nordox 75	8	750	0,31	1860	0,11	11,16			1,30	
	BB	8	200	1,8	2880	0,17	17,28			2,02	
					TOTAL -> 4740	0,28	28,44	0,04	22,50	3,32	1,00
7	BB	24	360	1	8640	0,17	17,28			2,02	
	Nordis 75	24	750	0,5	9000	0,18	18,00			2,10	
	Total Cuivre				TOTAL -> 17640	0,35	35,28	1,00		4,12	0,06
8	Nordox 75	10	750	0,5	3750	0,18	18,00			2,10	
	BB	10	200	1,5	3000	0,14	14,40			1,68	
					TOTAL -> 6750	0,32	32,40	15,15	2,21	3,78	0,14
9	Bb	8	200	1,5	2400	0,14	14,40	0,67	2,23	1,68	0,67
10	Bb	10	200	1,5	3000	0,14	14,40		25,30	1,68	11,12
11	Nordox 75	3	750	0,5	1125	0,18	18,00			2,10	
	Bb	3	200	1,5	900	0,14	14,40			1,68	
	Total Cuivre				TOTAL -> 2025	0,32	32,40	3,08	0,11	0,20	3,00
12	Bb	12	200	3,75	9000	0,36	36,00		3,08	4,20	5,34
13	Bb	9	203	3	5481		29,23	9,68		1,68	6,55
	F	9	500	3	13500		72,00	350,89		8,40	233,98

En vert, les modélisations correspondantes aux mesures d'exposition sur le terrain. Se rapporter à l'annexe X, pour les correspondances avec les échantillons et l'usage des EPI selon les exploitations.

Annexe XIII : calcul des ERI pour les 3 utilisateurs de folpel

TEMPS D'EXPOSITION			
Exploitation N°	2	3	13
Surface de raisins blancs en ha	30	6	9
Surface traitée par cuve en ha	10	6	9
Répétition pour traiter la totalité de l'exploitation	3	1	1
Nombre de traitements par an	3	3	3
Nombre de cuves par an	9	3	3
Années d'expérience du viticulteur	23	34	40
Année de traitements	0,57	0,28	0,33
Année de traitements correspondant à 8h / j	0,19	0,09	0,11

EXPLOITATION	ETAPE DU TRAITEMENT	DOSE RECUE DE FOLPEL	PORT DES GANTS LORS DE LA PREPARATION	DOSE SUR PEAU MESUREE	DOSE TRANSDERMIQUE en mg		ERI 100 %	ERI 10 %
		en mg			100 %	10 %		
2	Préparation 1	499,33	Oui	40,97	40,97	4,10	3,87E-04	3,87E-05
	Préparation 2	3 195,68						
	Préparation 3	401,86						
	Journée entière	4 096,87						
3	Journée entière	116,47	Oui	1,16	1,16	0,12	5,42E-06	5,42E-07
13	Totale préparation 1	584,93	Non	678,32	0,93	0,09	3,72E-03	3,72E-04
	Totale préparation 2	93,39						
	Journée entière	678,32						

Note : lorsque le viticulteur porte des gants pendant la préparation, la dose sur la peau correspond à 1 % de la dose reçue, conformément au facteur appliqué dans le modèle BBA.

Annexe XIV : l'Excès de Risque Individuel (ERI)

Pour lire et comprendre les résultats, la compréhension de l'ERI est indispensable. D'après l'Anses, l'ERI est le produit de la VTR sans seuil par la dose reçue par un individu ou un groupe d'individus. C'est, d'un point de vue théorique la probabilité d'observer l'effet néfaste, lié à l'agent, étudié chez un individu. Celle-ci ne prend pas en compte la probabilité qu'a l'individu d'être affecté par la pathologie considérée indépendamment de la présence de l'agent étudié.

L'ERI se calcule de la façon suivante :

$$\text{ERI} = \text{Dose journalière} \times \text{VTR sans seuil} \times \text{Durée d'exposition} / 70$$

ou

$$\text{ERI}_{\text{vie entière}} = \text{Dose Journalière} \times \text{VTR sans seuil}$$

La durée d'exposition est pondérée à 70 ans, car lors des calculs des VTR la durée de vie moyenne d'un individu est estimée à 70 ans.

Sur cette ERI se pose la question de l'acceptabilité de la probabilité d'observer un effet, c'est-à-dire quel est le seuil tolérable d'excès de risque. Le choix de l'ERI acceptable est sociétal et politique. L'US-EPA et l'ANSES utilisent généralement une valeur de 10^{-5} (AFSSET et InVS 2005) , et l'OMS vise 10^{-6} pour le niveau guide des eaux de boissons. Concrètement cela correspond à un cas supplémentaire de la pathologie pour 10 000 (10^{-4}) à 1 000 000 (10^{-6}) personnes. La valeur retenue ici est de 10^{-5} , c'est à dire un cas supplémentaire pour 100 000 individus, c'est la valeur guide de l'OMS qui est communément retenue. Néanmoins, l'OMS recommande de tendre vers 10^{-6} pour toutes les évaluations de risque afin d'améliorer constamment la sécurité sanitaire des individus.